

UNIVERSITE KASDI MERBAH – OUARGLA
FACULTÉ DES HYDROCARBURES, DES ÉNERGIES RENOUVEALABLES ET DES
SCIENCES DE LA TERRE ET DE L'UNIVERS



Département des Sciences de la Terre et de l'Univers

MEMOIRE DE MASTER Académique

Domaine : Sciences de la Terre et de l'Univers

Filière : Géologie

Spécialité : Hydrogéologie

TEME

**Caractérisation hydrogéochimique des nappes d'eaux
souterraines de la région d'El-Menia**

Présentation et soutenu publiquement par :

BAAZIZ Sara

Devant le jury :

Président	SATOUH Adel	M.C.A	Univ. Ouargla
Examineur	BOUSELSAL Boualem	M.C.A	Univ. Ouargla
Promoteur	HOUARI Idir Menad	Pr	Univ. Ouargla

Année universitaire : 2024 - 2025



Remerciement

Louange à Dieu, qui m'a permis et aidé à mener à bien ce travail, et par sa seule grâce, ce travail a été accompli et les objectifs atteints.

*J'adresse mes sincères remerciements et ma reconnaissance à mon directeur de thèse, le Dr **Houari IdirMenad**, pour le soutien scientifique et les précieux conseils qu'il m'a prodigués, ainsi que pour son engagement constant à améliorer la qualité de ce travail. Il a toute ma gratitude et mon respect.*

*Je tiens également à remercier le professeur **Djidel Mohamed** pour l'assistance scientifique et les conseils précieux qu'il m'a prodigués tout au long des phases de recherche.*

J'exprime ma profonde gratitude à l'Agence nationale des ressources en eau (ANRH) – antenne d'Ouargla – pour les facilités et les informations mises à ma disposition, qui m'ont directement aidé à mener à bien ce travail. Je remercie également le laboratoire d'analyses de l'Agence nationale de distribution et d'assainissement (ADE) de la province de Ghardaïa pour sa coopération et sa précieuse contribution à la fourniture des résultats d'analyse nécessaires. Je tiens à exprimer ma profonde gratitude à tous les professeurs qui m'ont enseigné et soutenu tout au long de mon parcours universitaire, ainsi qu'à tous ceux qui ont apporté leur contribution, leurs conseils ou leur soutien à la préparation de cette thèse.

J'adresse mes remerciements et ma profonde gratitude à mes chers parents, qui m'ont soutenue fidèlement en toutes circonstances, par leurs prières et leur confiance ; à mes deux étoiles, Nourelhouda et Salima ; à mes frères Abd Elbast, Ibrahim et Abdelhaq ; à ma famille ainsi qu'à mes chers amis, Mounira et Houdila, à tous ceux qui ont été une source de force et d'encouragement à chaque instant.

Je tiens également à exprimer mes sincères remerciements à l'ensemble du personnel du Département des sciences de la Terre et de l'espace.



Dédicace

À celui qui a semé les premières graines de mes rêves et qui est resté éveillé toute la nuit pour moi...

À celui dont les prières ont été le secret de ma réussite... Ma mère bien-aimée, le sommet de ma tête et la lumière de mon cœur.

À celui qui m'a appris la patience et la détermination et m'a soutenu à chaque étape de ma vie... Mon cher père.

À mes frères, ma famille et mes amis ceux qui ont partagé mon parcours scolaire et m'ont soutenu par leurs sourires et leur influence.

À tous ceux qui ont cru en moi et m'ont soutenu, ne serait-ce que par un mot gentil, un soutien ou une prière...

À mon estimé directeur de thèse, pour ses conseils et ses orientations.

À tous ceux qui m'ont appris une lettre et contribué à ce parcours.

Je dédie ce fruit de mon travail en signe de loyauté et de gratitude, espérant que cet humble effort marquera le début d'un avenir prometteur pour mon parcours académique et professionnel



Sommaire

Sommaire

Introduction générale.....	10
Chapitre I: Généralités	13
I.1- Introduction :.....	14
I.2- Contexte géographique de la région d'étude :	14
I.3- Régime climatique :	15
I.3.1- Précipitations :	16
I.3.2- Températures :	18
I.3.3- Vent:	19
I.3.4- L'évaporation :	20
I.3.5- Humidité:	21
I.4- Réseau hydrographique :.....	22
I.4.1- La vallée de l'Oasis :.....	22
I.4.2- Le lac (Sebkhat El Mellah) :	22
I.5- Topographie et composition géomorphologique :	23
I.5.1- Topographie :	23
I.5.2- composition géomorphologique :	23
I.6- Conclusion :	23
Chapitre II: Contexte géologique.....	25
II.1- Introduction :	26
II.2- Etude géologiques:	26
II.2 .1- Géologie régionale :	26
II.2 .2- Géologie locale :	27
II.3- Lithostratigraphie :	28
II.3.1 L'albien :	28
II.3.2. Le vraconien :	29
II.3.3. Le cénomanien:	29
II.3.4 Le turonien :	29
II.3.5. Le sénonien :	29
II.3.6. Le quaternaire :.....	29

II.4- Tectonique régionale :	35
II.5- Conclusion :	35
Chapitre III : Contexte hydrogéologique.....	37
III.1- Introduction :	38
III.2- Nappes souterraines :	38
III.2.1-Nappe superficielle(Nappe phréatique) :	39
III.2.1-Nappe du continentale intercalaire (Aquifère) :	39
III.3- Gestion et exploitation :	40
III.4- Conclusion :	41
Chapitre IV : Résultats et discussion.....	42
IV.1. Introduction:	43
IV.2- Présentation des résultats d'analyses :	43
IV.2.1.Les paramètres physiques :	43
IV.2.1.1. Potentiel Hydrogène (pH):.....	43
IV.2.1.2. La Conductivité électrique CE ($\mu\text{S.cm}^{-1}$):	43
IV.2.3. Les paramètres chimiques :	44
IV.2.3.1. Les anions majeurs :	44
IV.2.3.2. Les cations majeurs :	46
IV.3. Faciès chimique des eaux :	49
IV.3.1. Par la classification de STABLER :	49
IV.3.2.Par le digramme de PIPER :	51
IV.5. Origine des éléments chimiques :	52
IV.5.1.Origine des chlorures, sulfates et du sodium	52
IV.5.1.1. La relation $r\text{Na}/r\text{Cl}^-$:	52
IV.5.1.2. La relation $r\text{Na}^+/r\text{So}_4^{2-}$:	53
IV.5.2.Origine des bicarbonates, du calcium et du magnésium :	54
IV.5.2.1. La relation $r\text{Ca}^{+2}/r\text{HCO}_3^-$:	54
IV.5.2.3. La relation $r\text{Ca}^{+2}+r\text{Mg}^{+2}$ vs $r\text{HCO}_3^-$:.....	56
IV.6. Equilibres minéraux/solutions dans les eaux :	57
IV.6.1.Notion d'Indice de saturation :	57
IV.6.2.Variation de l'indice de saturation :	58
IV.6.3.Les relations indices de saturation vs minéraux prépondérants :	58

IV.6.3.1.Les relations indices de saturation vs minéraux évaporitiques :.....	58
IV.6.3.2.Les relations indices de saturation vs minéraux carbonatés :	61
IV.8 .La relation ISD vs ISC :	63
IV.9.Indice d'échange de base (i e b) :	64
V.9. Conclusion :	66
Conclusion générale	Erreur ! Signet non défini.

Liste de tableaux

Tableau 1 : Précipitations moyennes mensuelles à la station d'El Menia (2005-2024).	17
Tableau 2: Températures moyennes mensuelles à la station d'El Menia (2005-2024)	18
Tableau 3: Vitesses moyenne mensuelles des vents en (m/s) à la station d'El Menia (2006-2022)	19
Tableau 4: L'évaporation moyenne mensuelle à la station d'El Menia (2006-2022)	20
Tableau 5: Humidité relative moyenne mensuelle en % à la station d'El Menia (2006– 2022)	21
Tableau 6: Variations des paramètres physico-chimiques en (mg/l) :	49
Tableau 7: Les valeurs de l'i.e.b des points eaux du CI	65

Liste de figure

Figure 1: Carte de situation géographique de zone d'étude.....	15
Figure 2: Evolution précipitation annuelles d'ELMenia	16
Figure 3: Évolution des précipitations mensuelles d'El Menia (2005-2024)	17
Figure 4: Histogramme des températures moyennes mensuelles de la zone d'étude (2005-2024)	19
Figure 5: Histogramme de la vitesse moyenne mensuelle de vent de la zone d'étude (2006-2022)	20
Figure 6: Histogramme des évaporations moyennes mensuelles de la zone d'étude (2006-2022).....	21
Figure 7: Histogramme de l'humidité moyenne mensuelle dans la zone d'étude (2006 2022)	22
Figure 8: Carte géologique local d'El-Goléa.....	28
Figure 9: Colonne stratigraphique typique du Sahara Nord-Est (Sonatrach), modifié.	31
Figure 10: colonne lithostratigraphique de nouvelle ville d'El Menia.....	32
Figure 11: colonne lithostratigraphique de Nouveau pôle de la commune de Hassi El-Gara.....	34
Figure 12: Délimitation du "SASS" (OSS, 2003).....	39
Figure 13: Histogramme de la variation du pH des eaux du CI	43
Figure 14: Histogramme de la conductivité électrique des eaux du CI.....	44
Figure 15: Histogramme de variation spatiale des sulfates	45
Figure 16: Histogramme de variation spatiale des chlorures.....	45
Figure 17: Histogramme de variation spatiale des bicarbonates	46
Figure 18: Histogramme de variation spatiale du calcium.....	47
Figure 19: Histogramme de variation spatiale du magnésium	47
Figure 20: Histogramme de variation spatiale du Sodium	48
Figure 21: Histogramme de variation spatiale du Potassium.....	49
Figure 22: Faciès chimiques par la relation $rHCO/rCl$ vs rNa/Ca	50
Figure 23: Faciès chimiques par la relation $rHCO/rSO$ vs rMg/rCa	51
Figure 24: Faciès chimique des eaux du CI de la zone d'étude	52
Figure 25: La relation rNa vs rCl	53
Figure 26: La relation rNa vs rSO_4	54
Figure 27: La relation rCa vs $rHCO_3$	55
Figure 28: La relation rMg vs $rHCO_3$	56
Figure 29: La relation $rCa+rMg$ vs $rHCO_3$	57
Figure 30: La relation $rNa+rCl$ vs IS Halite.....	59
Figure 31: La relation $rCa+rSO_4$ vs IS Gypse et Anhydrite.....	59
Figure 32: La relation $Na+SO_4$ vs IS Mirabilite et IS Thénardite	60
Figure 33: La relation $rMg+rSO_4$ vs IS Epsomite	60
Figure 34: La relation $Ca+HCO_3$ vs IS Aragonite et IS Calcite.....	61
Figure 35: La relation $Ca+Mg+HCO_3$ vs IS Dolomite	62
Figure 36: La relation $Mg+HCO_3$ vs IS Magnésite	62
Figure 37: Diagramme I.S.D = f (I.S.C) des eaux prélevées de la zone d'étude.....	64

Introduction générale

Introduction générale

Introduction générale :

L'eau est le fondement de la vie et un élément économique crucial, ce qui exige que nous nous efforcions de la gérer de la meilleure façon possible, en particulier dans les régions arides où le renouvellement des ressources en eau est lié aux fluctuations climatiques extrêmes.

L'Algérie est un vaste pays, dont environ 80 % de la superficie est couverte par le désert. Cette région désertique est soumise à des conditions climatiques difficiles qui nécessitent des modes de vie et une gestion des ressources particuliers. La zone d'étude (El-Menia), se situe entièrement dans ce contexte désertique et se caractérise par des caractéristiques géographiques, climatiques et hydrogéologiques uniques.

La région d'El-Menia a un climat désertique très sec, où les précipitations sont rares et irrégulières, avec une forte évaporation et des températures élevées, ce qui fait de la disponibilité de l'eau une ressource critique et difficile. La principale source d'eau de cette région est constituée par les eaux souterraines, qui proviennent principalement d'aquifères profonds tels que l'aquifère Albien du système aquifère continental, qui est l'un des réservoirs d'eau les plus importants du désert du Sahara.

Notre étude vise à réaliser une analyse hydrogéochimique des eaux souterraines de la région d'El-Menia, afin de déterminer les propriétés physiques et chimiques de l'eau, et de mieux comprendre l'influence de la lithologie sur la chimie de cette ressource en eau souterraine.

Afin de mettre en œuvre cette étude et d'identifier les cas étudiés, nous adoptons la méthodologie suivante :

* Chapitre 1 : Informations générales sur la zone d'étude (présentation de la zone d'étude, système climatique, topographie et structure géomorphologique).

* Chapitre deux : Ce chapitre traite de l'étude géologique de la région d'El-Menia, en mettant l'accent sur la distribution géologique, la géologie et les effets de la tectonique sur les ressources en eaux souterraines.

Introduction générale

* Chapitre trois : Présente les caractéristiques hydrogéologiques du niveau d'eau de surface et du niveau d'eau continental intercalaire entre les couches de notre zone d'étude.

* Le dernier chapitre : traite l'étude hydrochimie et géochimique, où nous avons représenté les résultats des analyses physico-chimiques et les caractéristiques chimiques ; Nous avons également étudié l'origine des éléments chimiques à l'aide de méthodes statistiques.

Chapitre I: **Généralités**

Chapitre I: Généralités

I.1- Introduction :

La région d'El-Menia, récemment érigée en wilaya, se distingue par son positionnement géostratégique au cœur du Sahara algérien, à l'interface de plusieurs zones climatiques et géomorphologiques diversifiés. Cette région, à la fois oasis et porte du désert, fait l'objet d'une attention croissante dans les recherches portant sur la gestion durable des ressources naturelles, en particulier hydriques. Compte tenu de son climat extrêmement sec, caractérisé par des précipitations rares et une évaporation intense, l'analyse climatique constitue une étape fondamentale pour appréhender les dynamiques hydrologiques locales. Ce chapitre examine l'emplacement stratégique et le système climatique de la wilaya d'El-Menia, en se concentrant sur les précipitations, la température, l'évaporation, le vent et l'humidité, et en explorant leur impact sur le réseau hydrographique, la topographie et la formation géomorphologique de la région.

I.2- Contexte géographique de la région d'étude :

La wilaya d'El-Menia est située au sud de l'Algérie, qui s'appelait auparavant El-Goléa. El-Menia est devenue une wilaya officielle en 2021, cette dernière se compose de trois (03) communes : El Menia, Hassi El Gara et Hassi El Fahal. Sa superficie totale est estimée à 58 495,25 km². Cette région est située entre la latitude 30°35' nord et la longitude 02°52' est, avec une altitude moyenne de 396 mètres. , Cette localité est limitée à l'ouest la majeure partie du Grand Erg Occidental, et à l'est on trouve les pentes de Hamada qui forment le plateau de Tadmit. Elle est située à 870 km d'Alger et considérée comme la porte d'entrée du désert du Sahara. L'oasis la plus proche est :

- In Salah à 400 km au sud.
- Ghardaïa à 270 km au Nord-Est.
- Timimoune à 360 km Sud-Ouest.
- Ouargla à 410 km à l'Est.

Elle constitue actuellement un carrefour de routes venant de l'ouest du Saoura (Adrar, Timimoun) et du sud (Niger Tamanrasset, In Salah) ainsi de la Route Nationale N°1 venant de Nord (Alger, Djelfa et Ghardaïa) aussi bien de l'est route nationale n° 51 venant de Ouargla. Sa situation géographique est stratégique permet d'établir un équilibre spatial et fonctionnel à l'échelle de la wilaya et lui confère le caractère d'une région militaire importante, attirant ainsi les résidents des pays voisins.

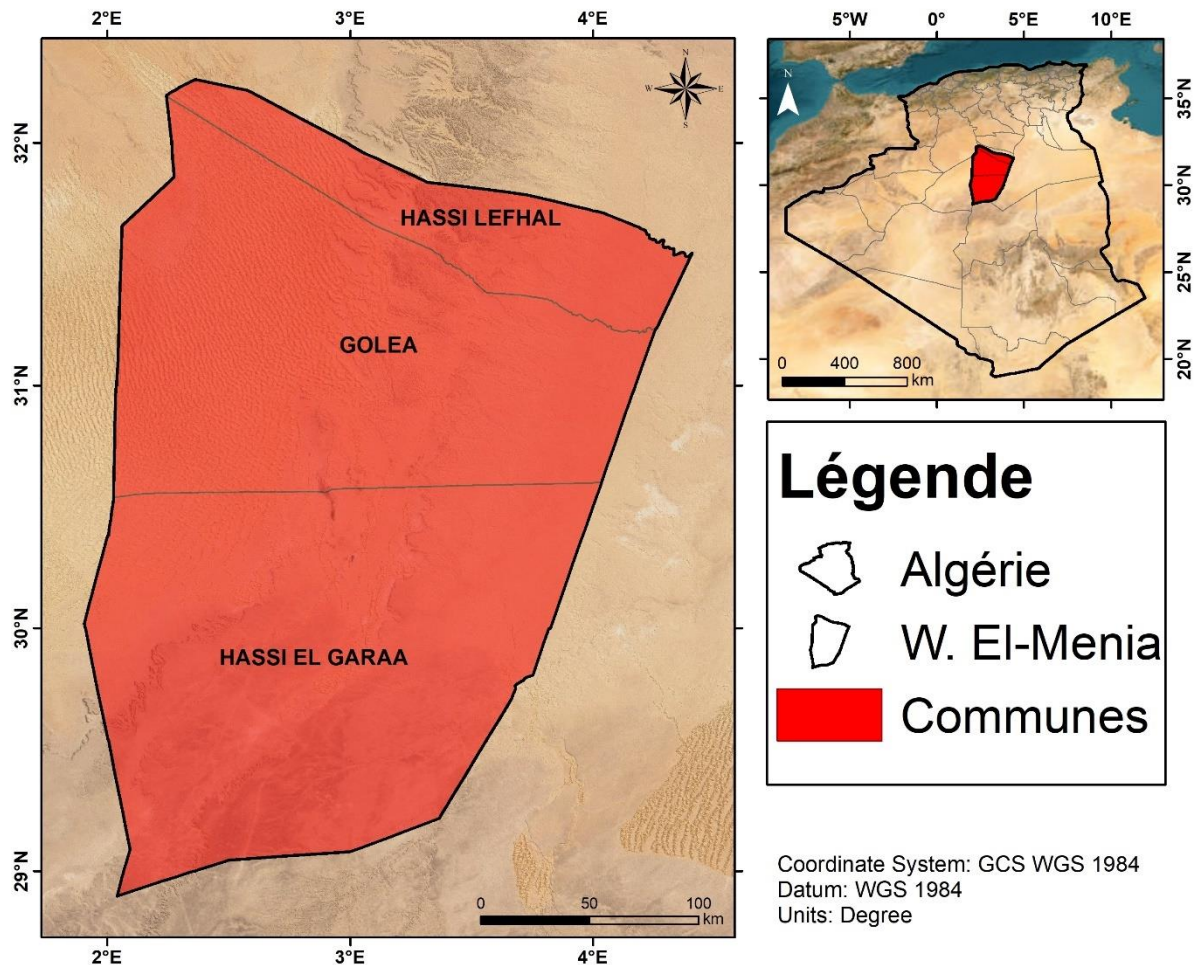


Figure 1: Carte de situation géographique de zone d'étude.

I.3- Régime climatique :

La compréhension des mécanismes d'approvisionnement et de circulation des eaux de surface et souterraines nécessite une analyse détaillée des données climatiques, notamment les précipitations, la température, l'humidité, l'évaporation et la vitesse du vent. La station de mesure des données climatiques est située à l'aéroport d'El-Menia. La région d'El-Menia est caractérisée par un climat désertique avec des étés chauds et secs comme juillet (très chaud) et des hivers doux à froids comme janvier (très froid). Les précipitations sont faibles et irrégulières mais bien réparties en automne et en hiver. Les vents saisonniers prévalent au printemps, comme en mois mars.

Chapitre I: Généralités

I.3.1- Précipitations :

L'analyse des précipitations annuelles et mensuelles permet de déterminer le régime pluviométrique dans la zone d'étude et d'évaluer sa variabilité dans le temps. Ces données sont essentielles pour comprendre la dynamique climatique locale et guider la gestion durable des ressources en eau.

I.3.1.1- Variation interannuelle des précipitations :

L'analyse de l'histogramme des variations annuelles des précipitations sur la période 2005–2024 montre que les années hydrologiques 2009 et 2014 sont les plus arrosées avec des précipitations de 7.1 mm et 6.08 mm respectivement. Les années 2007, 2010 et 2022 montrent des valeurs très faibles, proches de zéro. De manière générale, la période 2009–2017 présente les précipitations les plus élevées et les plus fréquentes. Il est clair qu'il y a une diminution significative des précipitations après 2018, indiquant une tendance à la baisse des précipitations. Cela peut indiquer un changement climatique local ou une modification du régime pluviométrique. Notons que la précipitation moyenne (2005-2024) est de 2.66mm.

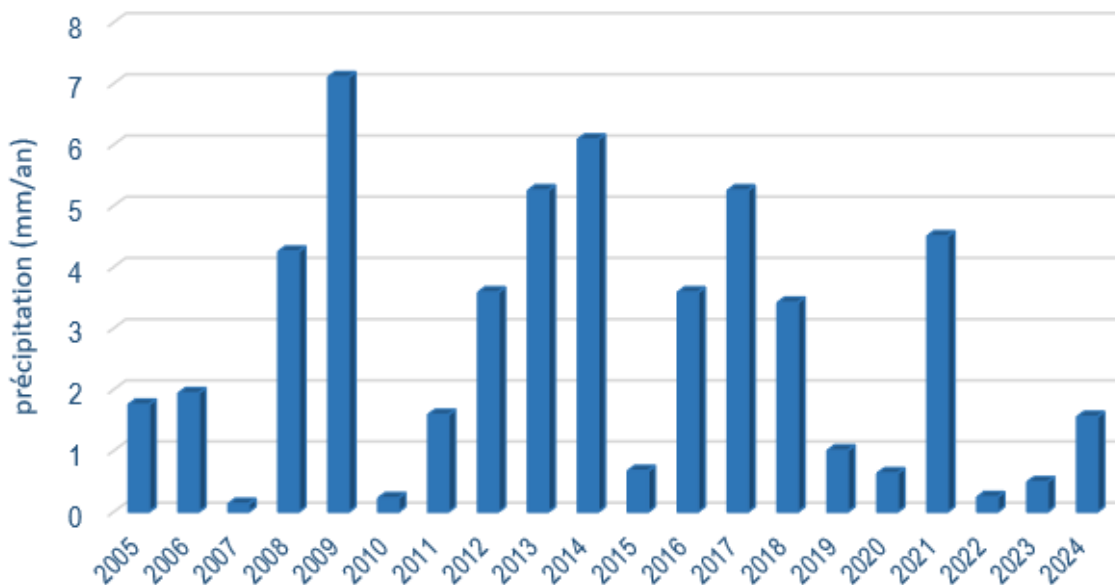


Figure 2: Evolution précipitation annuelles d'ELMenia

Chapitre I: Généralités

I.3.1.2. Variations moyennes mensuelles des précipitations:

Le graphique ci-dessous des variations moyennes mensuelles des précipitations (2005-2024) dans la région d'El-Menia montre que la pluviométrie la plus élevée a été enregistrée en janvier (6,055 mm), suivie de mars (4,04 mm) et de décembre (5,71 mm). En revanche, juillet est le mois le plus sec avec une moyenne de 0 mm, suivi de juin (0,325 mm) et août (0,65 mm), reflétant une sécheresse marquée en été. Cette répartition confirme le caractère désertique du climat local, où les précipitations sont rares et se concentrent en hiver. Les observations faites sur la période 2005-2024 sont représentées sur le tableau suivant :

Tableau 1 : Précipitations moyennes mensuelles à la station d'El Menia (2005-2024).

Mois	Sept	Oct	Nov	Déc	Jan	Fév	Mars	Avr	Mai	Juin	Juill	Aout	Total
P (mm)	3.78	2.835	3.075	5.71	6.055	1.535	4.04	1.55	3.405	0.325	0	0.65	32.96

Source : station d'El Menia

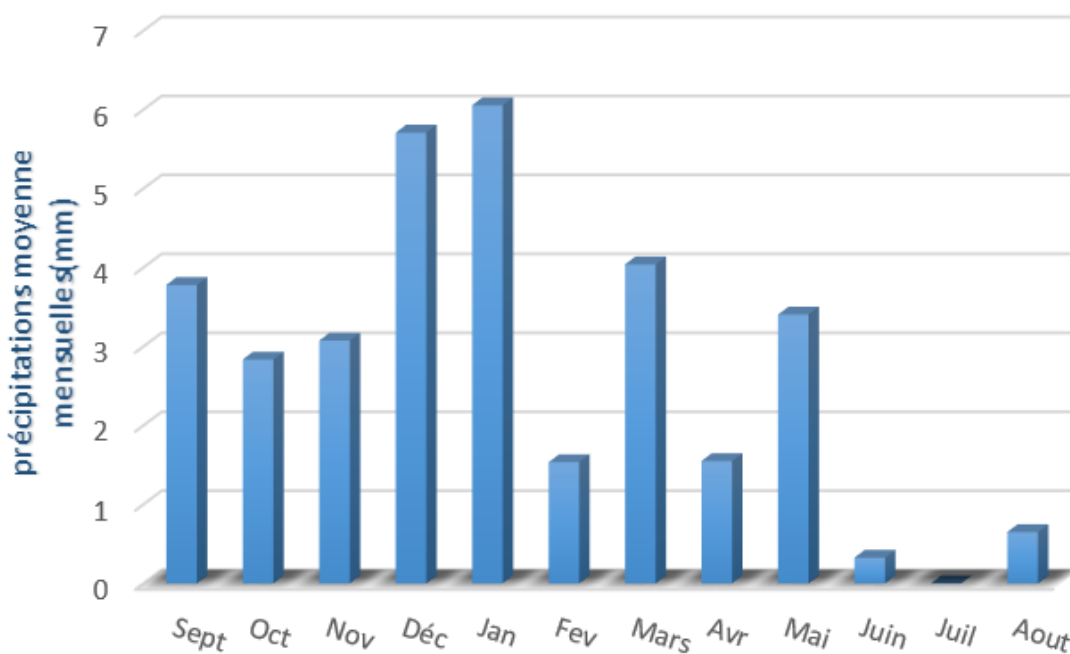


Figure 3: Évolution des précipitations mensuelles d'El Menia (2005-2024)

Chapitre I: Généralités

I.3.2- Températures :

La température est l'un des éléments climatiques les plus importants qui reflète les caractéristiques du climat dominant dans n'importe quelle région. Elle affecte directement l'évaporation, le sol, la végétation et les ressources en eau. Une étude de la distribution mensuelle des températures montre la variation entre les saisons, ce qui aide à comprendre la dynamique du climat local. Dans ce contexte, les données de température enregistrées dans la ville d'El Menia ont été analysées pour révéler ses propriétés thermiques.

I.3.2.1- Variations moyennes mensuelles des températures :

Les données présentées mettent en évidence la variabilité des températures mensuelles (2005-2024) à El-Menia, caractérisée par un climat très variable caractéristique des environnements désertiques. Janvier est le mois le plus froid, avec une température minimale moyenne de 1,88 °C et une maximale de 19,75 °C, soit une moyenne mensuelle de 10,5 °C. À l'inverse, le mois le plus chaud est juillet, avec une température minimale de 25,30 °C et une température maximale de 44,15 °C, soit une moyenne de 34,92 °C. Les températures augmentent dès février et atteignent leur maximum pendant l'été, avant de baisser progressivement à partir de septembre. Le contraste thermique quotidien est ensuite particulièrement élevé pendant l'été : en juillet, l'écart entre les températures minimales et maximales est de 18,85 °C. Il s'agit d'une caractéristique normale dans les déserts, avec des journées extrêmement chaudes et des nuits plus fraîches. Les mois d'avril et d'octobre sont comparativement plus doux et représentent des phases de transition entre les extrêmes climatiques. De telles conditions thermiques influencent grandement l'évaporation, la disponibilité en eau et la dynamique hydrologique de la région.

Tableau 2: Températures moyennes mensuelles à la station d'El Menia (2005-2024).

Mois	Sept	Oct	Nov	Déc	Jan	Fév	Mars	Avr	Mai	Juin	Juill	Aout
T Mini (°C)	20.95	15.03	6.44	3.08	1.87	4.28	7.26	12.47	17.42	22.00	25.30	24.95
T Max (°C)	38.71	32.76	25.60	19.66	19.74	21.78	26.95	32.08	36.16	41.88	44.15	42.97
T Moye (°C)	30.11	23.84	16.01	11.47	10.5	13.27	17.25	22.31	26.83	32.07	34.92	34.2

Source : station d'El Menia

Chapitre I: Généralités

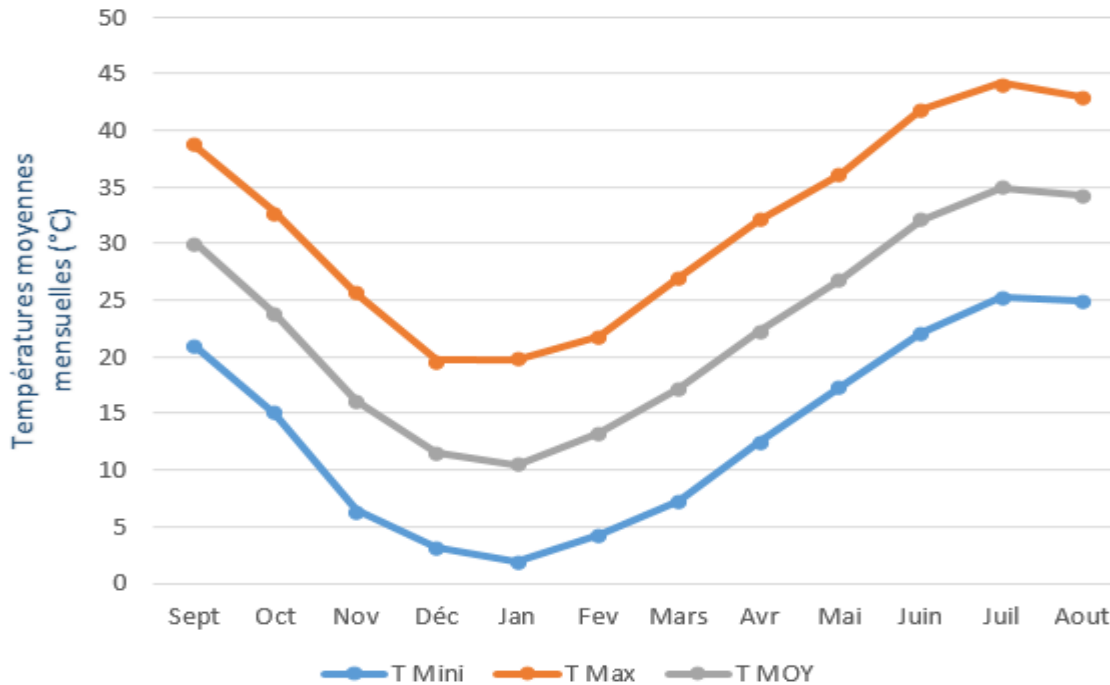


Figure 4: Histogramme des températures moyennes mensuelles de la zone d'étude (2005-2024)

I.3.3- Vent:

La vitesse du vent est un facteur climatique fondamental qui affecte directement plusieurs phénomènes naturels, tels que l'évaporation, l'empiètement du sable et le transport de poussière. Il joue également un rôle important dans l'équilibre de l'écosystème dans les régions arides. Par exemple, dans la région d'El-Menia, au cours de la période s'étendant de 2006 à 2022 (voir tableau 03 ci-après), la vitesse du vent a enregistré des variations importantes tout au long de l'année, la moyenne maximale du vent atteignant 3,01 m/s en mars, tandis que la minimale a été enregistrée à environ 1,75 m/s en août. Cette variation reflète l'effet saisonnier des vents, qui sont plus forts en hiver et au printemps et relativement plus faibles en été.

Tableau 3: Vitesses moyenne mensuelles des vents en (m/s) à la station d'El Menia (2006-2022)

Mois	Sept	Oct	Nov	Déc	Jan	Fév	Mars	Avr	Mai	Juin	Juill	Aout
V (m/s)	1.98	1.87	2.07	2.91	1.89	2.1	3.01	2.47	2.12	2.17	1.84	1.75

Source : station d'El Menia

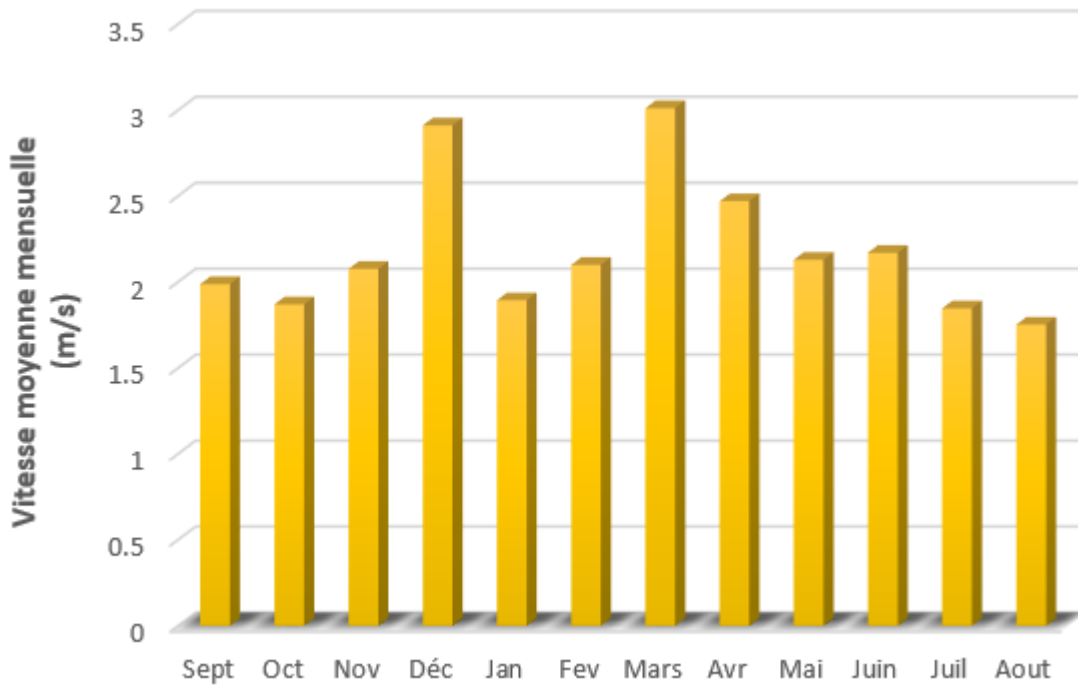


Figure 5: Histogramme de la vitesse moyenne mensuelle de vent de la zone d'étude (2006-2022)

I.3.4- L'évaporation :

L'évaporation est le processus physique par lequel l'eau se transforme en vapeur. Il est considéré comme l'un des facteurs fondamentaux du bilan hydrologique, car il représente l'un des éléments de « sortie » qui affectent la disponibilité de l'eau dans une zone particulière. Ce facteur est particulièrement important dans les zones arides ou semi-arides telles que la région de Menia. Le tableau suivant présente les mesures d'évaporation à la station Menia durant la période de 2006 à 2022. En juin, juillet et aout évaporation est plus élevée respectivement 36,70 - 39,50 - 37,95, ce qui permet de comprendre la dynamique de la perte d'eau par évaporation dans cette région désertique.

Tableau 4: L'évaporation moyenne mensuelle à la station d'El Menia (2006-2022)

Mois	Sept	Oct	Nov	Déc	Jan	Fév	Mars	Avr	Mai	Juin	Juill	Aout
E (m/s)	31.07	23.8	14.71	11.15	16.43	14.97	22.36	27.73	32.41	36.70	39.50	37.95

Source : station d'El Menia

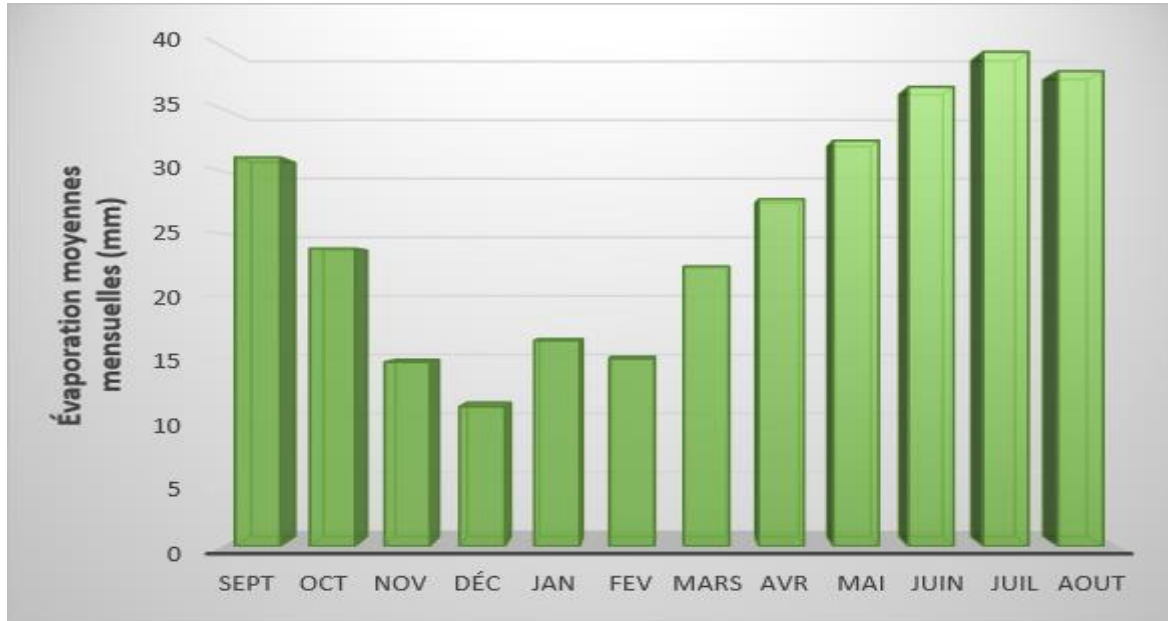


Figure 6: Histogramme des évaporations moyennes mensuelles de la zone d'étude (2006-2022)

I.3.5- Humidité :

L'humidité est un paramètre climatique clé qui exprime la quantité de vapeur d'eau présente dans l'air par rapport à sa capacité maximale de saturation, et elle est exprimée en pourcentage. Ce facteur joue un rôle direct dans les phénomènes d'évaporation, de condensation, ainsi que dans le confort thermique. Dans une région aride comme El Menia, l'étude de l'humidité permet de mieux cerner la dynamique hydrique de l'atmosphère et ses interactions avec les autres composantes climatiques. Les données enregistrées (Tableau05) entre 2006 et 2022 montrent une variation saisonnière nette. L'histogramme de l'humidité relative indique que la valeur la plus faible est enregistrée durant le mois de juillet avec 19,76 %, en lien avec les fortes températures estivales qui augmentent l'évaporation. En revanche, la valeur la plus élevée est atteinte en décembre, avec un taux de 54,52 %, ce qui s'explique par des températures plus basses favorisant la rétention de l'humidité dans l'air. Cette dynamique reflète clairement les caractéristiques d'un climat désertique.

Tableau 5: Humidité relative moyenne mensuelle en % à la station d'El Menia (2006– 2022)

Mois	Sept	Oct	Nov	Déc	Jan	Fév	Mars	Avr	Mai	Juin	Juill	Aout
H (%)	30.88	39.64	48.70	54.52	53.41	43.88	36	31.17	41.35	22.35	19.76	22.17

Chapitre I: Généralités

Source : station d'El Menia

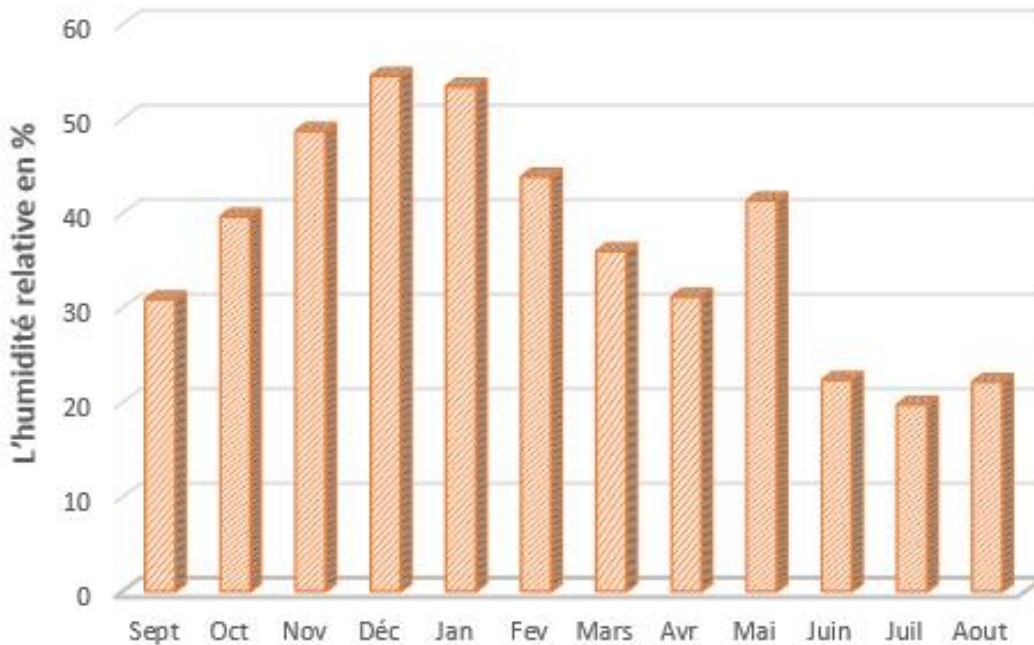


Figure 7: Histogramme de l'humidité moyenne mensuelle dans la zone d'étude (2006-2022)

I.4- Réseau hydrographique :

I.4.1- La vallée de l'Oasis :

El-Menia est située en amont, à côté d'un chenal orienté approximativement selon une trajectoire NNE-SSO, dans lequel les contributions hydrologiques de l'impluvium atlasique et de l'Erg occidental se propagent vers la région de Gourara.

I.4.2- Le lac (Sebkhat El Mellah) :

Le lac d'El-Menia ou Sebkhat El-Maleh est une dépression endoréique d'une superficie 18.947 hectares caractérisée par des sols salins qui se compose de 2 plans d'eau, le premier, situé dans la région nord (bassin supérieur), présente des niveaux de salinité modérés et présente une diversité biologique particulièrement abondante, ressemblant à un écosystème d'étang ; le second est appelé Sebkha, ou lac salé, largement dépourvu de végétation et dont les abords sont incrustés de dépôts de sel. Cette caractéristique géographique est située à environ 12 kilomètres au sud du district d'El-Menia, plus précisément dans la localité de Hassi El-Gara.

Chapitre I: Généralités

I.5- Topographie et composition géomorphologique :

I.5.1- Topographie :

La configuration générale du terrain est marquée par une légère baisse (1 à 2 %) de la région nord (en amont) vers la région sud (en aval). Cette légère variation de pente est particulièrement évidente dans les secteurs Est et Sud-ouest. Les niveaux d'altitude fluctuent autour de 390 mètres (DSA, 2014).

La vallée de l'oasis est située en amont d'un vaste canal orienté NNE-SSW, ce qui facilite l'écoulement des eaux provenant de l'Atlas saharien et de l'Erg occidental vers Gourara (DSA, 2014).

La présence d'élévations en forme de table distinctement caractéristiques dans le Sahara, qui atteignent une hauteur de 100 mètres, est dûment reconnue ; ces formations sont identifiées comme étant Ksar El-Menia et Garet Tin Bouzid.

I.5.2- composition géomorphologique :

La région d'El-Menia est située sur une ancienne plaine alluviale façonnée de manière complexe au sein d'un plateau rocheux, dont les fondements géologiques sont attribués à la période cénomanienne.

Il est situé dans un couloir étroit niché entre les dernières dunes du Grand Erg Occidental. La vallée de l'oasis constitue un bassin alluvial caractérisé par un terrain agricole exceptionnellement fertile, où diverses cultures fleurissent le long d'un oued. Comme l'a noté G. Capot-Rey (1958), cet oued représente la continuité de l'oued Seggeur, qui a réapparu après son passage sur l'erg. Par conséquent, l'oasis est établie dans une zone de faible altitude caractérisée par des sols alluviaux sableux, qui évoluent progressivement vers une composition légèrement argileuse à mesure que l'on s'approche des monticules situés à l'est. De plus, on observe la présence d'une glaçure simple ou double qui est fortement disséquée dans certaines zones, créant une surface très propice au ruissellement.

I.6- Conclusion :

L'analyse des données climatiques et géographiques d'El-Menia révèle une région soumise à des contraintes naturelles sévères, dominées par un climat désertique extrême. L'insuffisance des précipitations, les températures élevées et l'évaporation intense influencent directement la disponibilité et la qualité des ressources en eau, rendant leur gestion d'autant plus critique. La

Chapitre I: Généralités

configuration topographique et la structure géomorphologique, notamment la vallée de l'oasis et le lac Sebkhath El Mellah, jouent un rôle essentiel dans le fonctionnement hydrologique local. Ces résultats soulignent l'importance d'approches intégrées, basées sur des données climatiques, pour assurer une exploitation durable et raisonnée des ressources hydriques dans cette région saharienne stratégique.

Chapitre II:

Contexte géologique

Chapitre II : Contexte géologique

II.1- Introduction :

L'étude géologique de la région d'El-Menia est une grande importance pour révéler la répartition spatiale et les mécanismes de développement des eaux souterraines. Ce chapitre se concentre sur l'exploration des stratégies géologiques dominantes. En utilisant les données de forage et les recherches antérieures, nous avons pu fournir dans ce chapitre une explication précise de la structure géologique.

II.2- Etude géologiques :

L'examen géologique complet d'une zone spécifique est impératif pour identifier avec précision les formations susceptibles d'héberger des aquifères en fonction de leurs caractéristiques lithologiques. De nombreux chercheurs ont contribué au discours universitaire sur la géologie du nord du Sahara (Glangeaud, 1932 ; Conrad, 1969 ; Busson, 1970 ; Fabre, 1976). On suppose que cet ensemble de recherches relativement cohérent peut fournir des informations importantes sur les caractéristiques géologiques de la région étudiée.

II.2 .1- Géologie régionale :

Les études de Busson (1967, 1970) et Fabre (1976, 2005) sont essentielles pour comprendre la géologie du Sahara algérien. Selon une étude menée par Faber (2005), le Paléozoïque a connu des variations climatiques et tectoniques. Le Cambrien débute avec des grès déposés sur un socle précambrien, suivis d'une transgression ordovicienne. Le Silurien est marqué par une glaciation et des argiles riches en matière organique. Le Dévonien voit l'extension d'une mer au sud avec une faune benthique spécifique. Enfin, au Permo-Carbonifère, un régime marin et continental s'installe, accompagné de l'orogénèse hercynienne.

Au Mésozoïque, la région du Sahara occidental et central connaît trois phases majeures. D'abord, une pénéplaine se forme avec un golfe peu profond et des lagunes, où se déposent argiles, sel et anhydrite, tandis que des coulées basaltiques s'accumulent à l'ouest. Ensuite, l'ouverture de l'Atlantique nord entraîne la formation de bombements et de fossés, avec la sédimentation du Continental Intercalaire sur le Sahara central, tandis que l'érosion affecte le craton ouest-africain. Enfin, deux inondations crétacées, issues de la Téthys, recouvrent le sud du Sahara, isolant des reliefs comme le Hoggar.(BILAL, 2021/2022, p. 11)

Chapitre II : Contexte géologique

II.2 .2- Géologie locale :

Les caractéristiques géologiques de la région d'El-Menia ont été étudiées de manière approfondie par de nombreux chercheurs, notamment Busson en 1967, qui a construit une carte géologique qui délimite les échantillons de l'ère géologique secondaire. Ces spécimens comprennent des sols anciens provenant de la période du Cénomaniens occidental inférieur, principalement argileux, ce qui témoigne d'une époque humide dissimulée par le Grand Erg occidental. Les sols des périodes du Cénomaniens moyen et supérieur sont situés à proximité de la zone d'étude, en particulier vers l'est, et présentent une composition calcaire. La formation géologique turonienne commence à se manifester à environ 19 kilomètres au sud d'El-Menia. (BOUSMAHA CHAIMA et AHMADOU CHAIMA)

Les affleurements s'élargissent du Sud au Nord mais restent limités d'Ouest et en Est en raison des variations topographiques. L'Erg Occidental, formé durant le Quaternaire, résulte de l'action des vents transportant le sable du Sud vers le Nord. Les reliefs de sabkhas et les structures alpines favorisent l'infiltration des eaux, alimentant les nappes phréatiques des oasis environnantes.(Fenazi.B2022)

Chapitre II : Contexte géologique

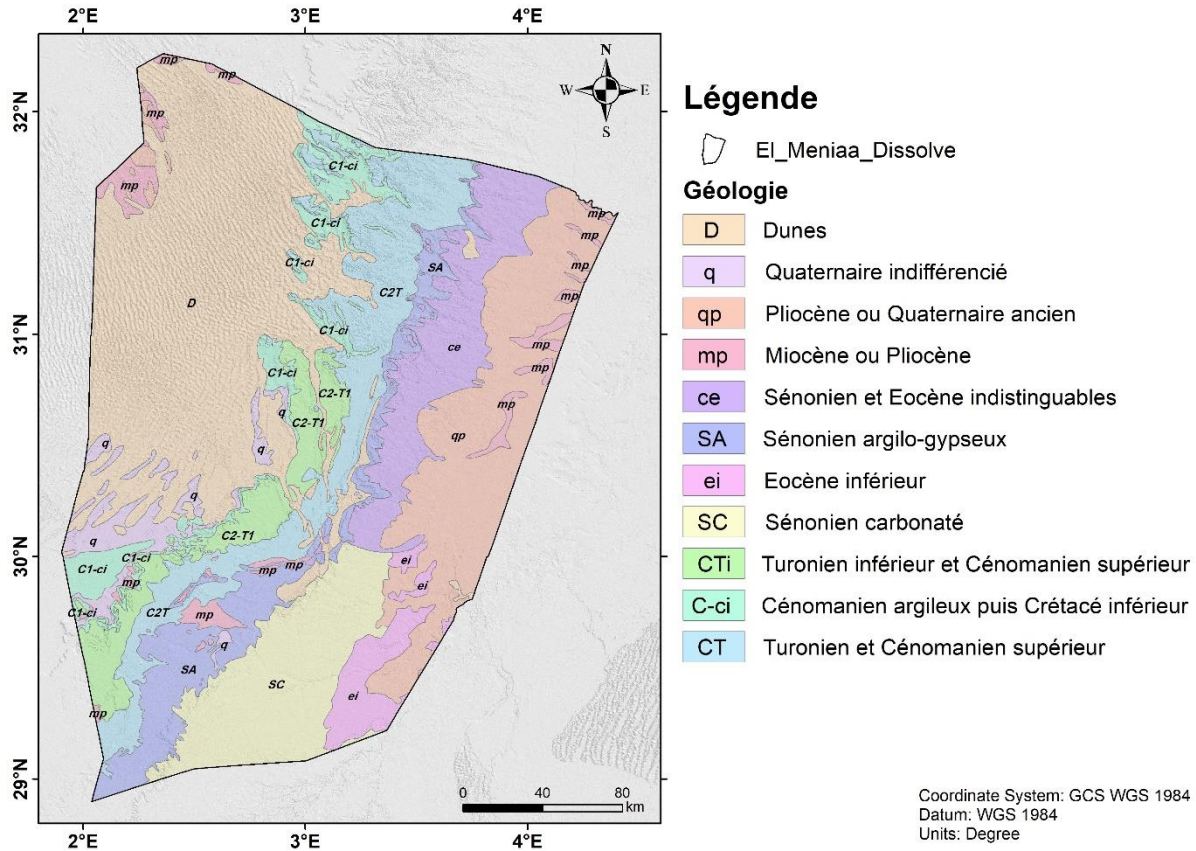


Figure 8: Carte géologique local d'El-Goléa.

II.3- Lithostratigraphie :

D'après les sondages de reconnaissance réalisés par N. Gousskov en 1947 et les données issues des forages pétroliers, la série stratigraphique de la région d'El Menia a pu être décrite avec précision. Les forages hydrauliques, quant à eux, étant généralement limités aux zones aquifères, apportent des informations plus restreintes. Ainsi, la stratigraphie de la zone d'étude se présente de bas en haut selon les principales formations géologiques rencontrées.

II.3.1 L'albien :

Il s'agit d'un amas de sable, de grès et d'argile rouge ayant une épaisseur de plusieurs centaines de mètres. L'importance de cette formation réside dans sa présence de la nappe aquifère du même nom ou de la nappe continentale intercalaire.

Chapitre II : Contexte géologique

II.3.2. Le vraconien :

Il s'agit d'une formation argilo-sableuse d'une épaisseur d'environ 50 mètres. Il est très similaire à l'albien, mais il se distingue par sa forte teneur en argile, ce qui lui confère une imperméabilité relative.

Dans la réalité, le vraconien est le toit imperméable de l'albien lorsqu'il n'est pas érodé. Son sous-sol est celui d'El-Menia.

II.3.3. Le cénomanien:

Il s'agit d'un massif de marne et de calcaire de 150 à 170 m d'épaisseur, toit de la moyenne partie de l'Albien sans Vraconien et falaise dominant El-Menia à l'Est. Le cénomanien comprend :

II.3.3. cénomanien inférieur :

La base de cette série est composée de marnes et d'argiles gris verdâtres. Ce niveau est le résultat d'intercalations calcaires (calcaires en plaquettes), de gypses, puis d'une nouvelle série marnoargileuse, et se termine par un banc de grès quartzeux très compact. Le cénomanien inférieur à une épaisseur de 70 mètres.

II.3.3.2. cénomanien supérieur :

Il s'agit d'une couche calcaire d'une dizaine de mètres d'épaisseur qui abrite de nombreux gîtes fossilifères aux environs de l'oasis.

II.3.4 Le turonien :

Il est constitué d'une barre de calcaire épaisse de 50 à 60 mètres. Il est l'un des sommets de la dorsale M'Zab et le plateau de Tademaït. Ces calcaires turoniens peuvent parfois être

Ils sont légèrement fissurés et contiennent une nappe d'eau.

II.3.5. Le sénonien :

Il s'agit d'un mélange de marnes, de calcaires et de gypses qui se rencontre dans le m'Zab et sur Tademaït. Il arrive parfois que les barres de calcaires contiennent de petites nappes d'eau.

II.3.6. Le quaternaire :

Trois types de dépôts sont présents :

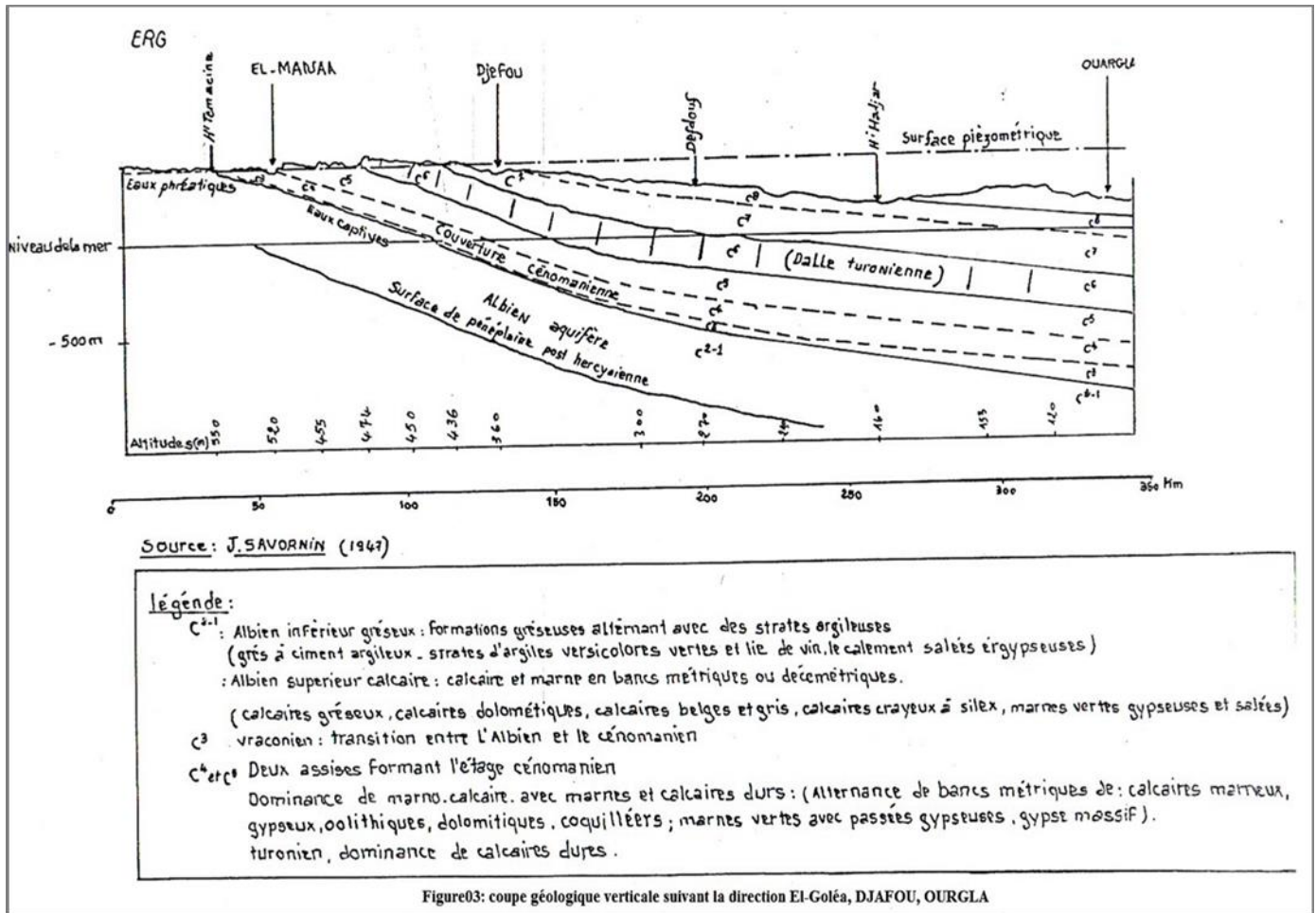
- Une croute calcaire désertique qui se trouve principalement sur les trois plateaux calcaires à El-Menia.

Chapitre II : Contexte géologique

Les eaux des cours d'eau sont principalement constituées de sable, avec des niveaux argileux intercalés et développés, en particulier dans la vallée de l'oued Seggueur.

-Le substratum crétacé est complètement recouvert par les dunes de l'erg occidental, sur de longues distances.

- Le quaternaire abrite une importante nappe phréatique à El-Menia.



Source: Mémoire Master 2019 AIAD Walid

Chapitre II : Contexte géologique

Chronostratigraphie		Coupe	Lithologie
TERTIAIRE			Sables et argiles Calcaires
C R E T A C E	Sénonien		Alternance d'anhydrites, de dolomies et d'argiles
	Turonien		Calcaires
	Cénomannien		Dolomies et calcaires dolomitiques
	Albien		Alternance d'argiles et dolomie Grès avec intercalations carbonatées
	Aptien		Formations carbonatées
	Barrémien		Grès et argiles
	Néocomien		Argiles et bancs massifs d'anhydrites
JURASSIQUE	MALM		Calcaires et argiles
	DOGGER		
	LIAS		Evaporites avec sels, anhydrite et argiles
TRIAS			Formations salifères, argileuses et argilo-gréseuses
CARBONIFERE			
DEVONIEN			
SILURIEN			
ORDOVICIEN			Formations gréseuses, sableuse et argileuses
CAMBRIEN			
INFRACAMBRIEN			Roches métamorphiques

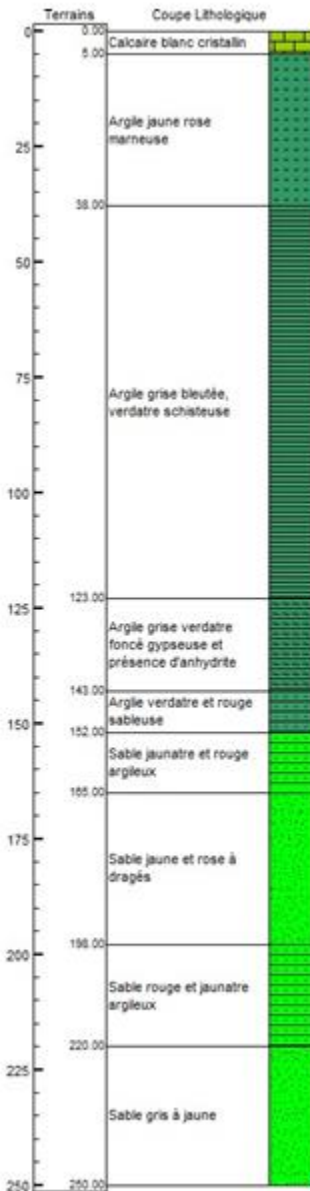
Figure 9: Colonne stratigraphique typique du Sahara Nord-Est (Sonatrach), modifié.

Source : Mémoire Master 2016 TELLI Souhaib

Chapitre II : Contexte géologique

Situation des deux (02) forages parmi les forages d'El-Menia (commune El Menia – commune Hassi El Gara) :

Les forages sont situés sur un terrain surélevé offrant une vue sur l'oasis d'El-Menia ; ces infrastructures font partie d'une série de forages AEP conçus pour fournir des ressources en eau pour le futur développement urbain d'El-Menia.



- Le premier forage :

Coordonnées géographiques du forage :

31R 491150.38m 3384675.19m UTM WGS84

➤ **Stratigraphie et lithologie :** Le profil stratigraphique a été défini grâce à l'échantillonnage systématique des déblais à des intervalles d'un mètre tout au long de l'enquête.

- **Le Turonien :** s'étendant de 0 à 7 mètres. Il se caractérise par un calcaire cristallin blanc et rose, présentant une sensibilité variable, accompagné de marnes jaunâtres dans la section basale.

- **Le Cénomaniens :** s'étend de 7 à 156 mètres. Cette section est composée d'argile gris-bleuâtre, passant à une teinte verdâtre, présentant une nature de schiste plastique, avec des occurrences notables de gypse et d'anhydrite.

- **L'Albien :** à partir de 156 mètres. Il se compose de sable fin jaunâtre situé sur de l'argile, passant à du sable fin à jaune moyen à du sable rougeâtre, et de grès parsemé de granules roses, aboutissant à un fin sable brun recouvert d'argile à la base.

Figure 10: colonne lithostratigraphique de nouvelle ville d'El Menia.

Source : ANRH Ouargla

Chapitre II : Contexte géologique

- Le deuxième forage :

Coordonnées du forage :

494838.85 m N 3374866.62 m E 407 m

➤ **Stratigraphie et lithologie :**

Le profil stratigraphique a été élucidé grâce à l'échantillonnage systématique des coupures à des intervalles d'un mètre tout au long de l'enquête

- **Le Turonien :** s'étendant de 0 à 6 mètres. Cette formation est caractérisée par un calcaire cristallin blanc et rose, présentant des degrés de tendreté variables, accompagné de marnes jaunâtres à sa base.
- **Le Cénomaniens :** s'étend de 6 à 155 mètres. Cette couche est constituée d'argile gris-bleuâtre passant à des teintes verdâtres, possédant une composition de schiste plastique et présentant la présence de gypse et d'anhydrites.
- **L'Albien :** à partir de 155 mètres. Cette couche est composée de sable fin jaunâtre recouvrant de l'argile dans la partie supérieure, passant à du sable fin à jaune moyen à rougeâtre, et de grès parsemé de nodules roses, se terminant par du sable fin brun posé sur une base argileuse.

Chapitre II : Contexte géologique

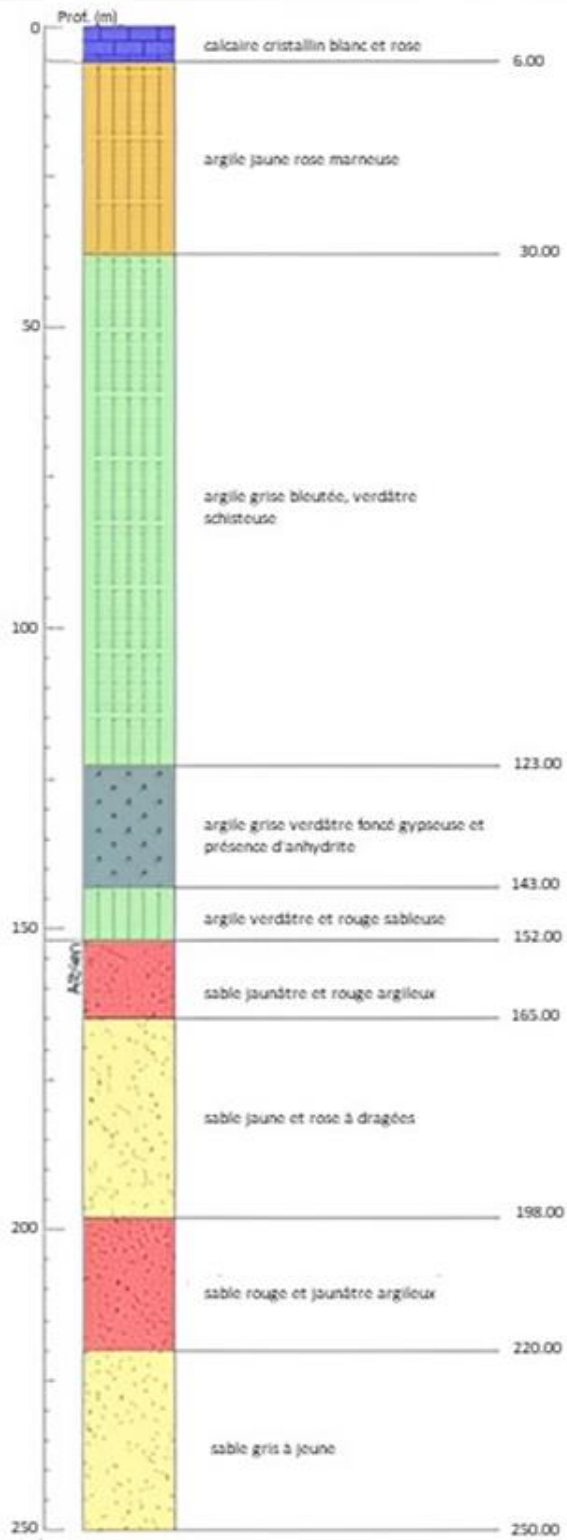


Figure 11: colonne lithostratigraphique de Nouveau pôle de la commune de Hassi El-Gara.

Source : ANRH Ouargla

Chapitre II : Contexte géologique

II.4- Tectonique régionale :

La région centrale du nord du Sahara a connu d'importants déplacements verticaux, aboutissant à un affaissement progressif. Ce phénomène a commencé au début du Crétacé. Cet affaissement est ensuite comblé par des dépôts lagunaires, qui présentent des épaisseurs considérables au cœur du bassin. Le processus de déplacement vers le bas se poursuit à un rythme très progressif dans tout le Turonien et dans une partie du Sénonien. Les deux couches stratigraphiques présentent de légères variations d'épaisseur et de faciès sur l'ensemble de l'étendue du bassin saharien (BOUDJEMA, 1987).

Au cours de l'Éocène moyen, un dépôt lagunaire est réapparu, ce qui signifie le remplissage définitif du bassin saharien. Par la suite, l'activité tectonique dans cette région a induit : un soulèvement global suivi d'un mouvement descendant qui a débuté au Miocène et se poursuit encore aujourd'hui, en corrélation avec la sédimentation continentale associée aux périodes Mio-Pliocène et Quaternaire.

À l'échelle tectonique locale, l'oasis d'El Menia représente une région relativement stable caractérisée par l'absence d'activité tectonique significative. Il est pertinent de souligner la présence d'ondulations mineures associées à des mouvements tectoniques régionaux de la fin du Mésozoïque, comme en témoigne la faille d'Amguid orientée N-S. De plus, la genèse des oueds peut être attribuée à des activités tectoniques extensionnelles, comme en témoigne le Wadi Seggeuer. (Fenazi.B2022)

II.5- Conclusion :

Les recherches ont montré que la géologie d'El-Menia est caractérisée par une diversité stratigraphique et des influences tectoniques spécifiques. Comme l'a noté Fabre (2005), l'étude géologique de la zone étudiée indique que le Paléozoïque a été marqué par des changements climatiques et tectoniques. La zone étudiée est caractérisée par l'existence de formations du Secondaire, séparées par une ancienne formation lithologique de nature argileuse, datée du Cénomaniens inférieur, située à l'ouest. Celle-ci donne naissance à une période d'humidité cachée par le Grand Erg Occidental. Les formations géologiques du Cénomaniens moyen et supérieur sont réparties sur l'ensemble de la zone d'investigation, particulièrement à l'Est, avec une texture calcaire. Le Turonien commence à apparaître à 19 km au sud d'El-Menia. Les forages pétroliers

Chapitre II : Contexte géologique

donnent une séquence stratigraphique de la zone, qui révèle que le Quaternaire est composé d'une croûte calcaire, de dépôts alluviaux et de dunes de l'Erg occidental.

Chapitre III : Contexte hydrogéologique

Chapitre III : Contexte hydrogéologique

III.1- Introduction :

La région d'El-Menia, située dans le sud de l'Algérie, présente une importance hydrogéologique particulière en raison de la présence de deux principaux niveaux d'eau souterraine : les eaux souterraines de surface et la dépression continentale profonde connue sous le nom d'Albien. Ce système complexe d'eaux souterraines est le résultat de conditions climatiques anciennes plus humides et contraste fortement avec l'aridité actuelle du désert du Sahara. La compréhension des caractéristiques hydrogéologiques de ces aquifères, ainsi que leur recharge, leur dynamique, leur exploitation et les défis associés à leur gestion durable, est un enjeu crucial pour le développement social et économique local. Ce chapitre vise à fournir une analyse détaillée des niveaux des eaux souterraines dans la région et de leurs interactions avec les conditions géologiques et climatiques.

III.2- Nappes souterraines :

Le Sahara contemporain renferme les vestiges d'un système hydrographique ancien qui témoigne de débits d'eau de surface vigoureux survenus pendant les intervalles pluviaux de l'époque quaternaire. Malgré cela, le réseau susmentionné est actuellement largement obstrué par les contributions de l'énergie éolienne (DUBOST, 2002).

Comme l'affirme DELAPARENT (1948), El-Menia représente un exemple unique en raison de l'incapacité d'une palmeraie à établir une présence durable au pied de la falaise de Tademaït. Le facteur le plus apparent à l'origine de ce phénomène est la faiblesse des précipitations enregistrées dans la région de Tademaït. L'oasis d'El-Menia doit son eau à la présence de deux nappes :

- Nappe phréatique : Cette nappe est superficielle, toute proche de la surface.
- Nappe albienne (aquifère) : Cette nappe est profonde, contenue dans le continental intercalaire.

Chapitre III : Contexte hydrogéologique

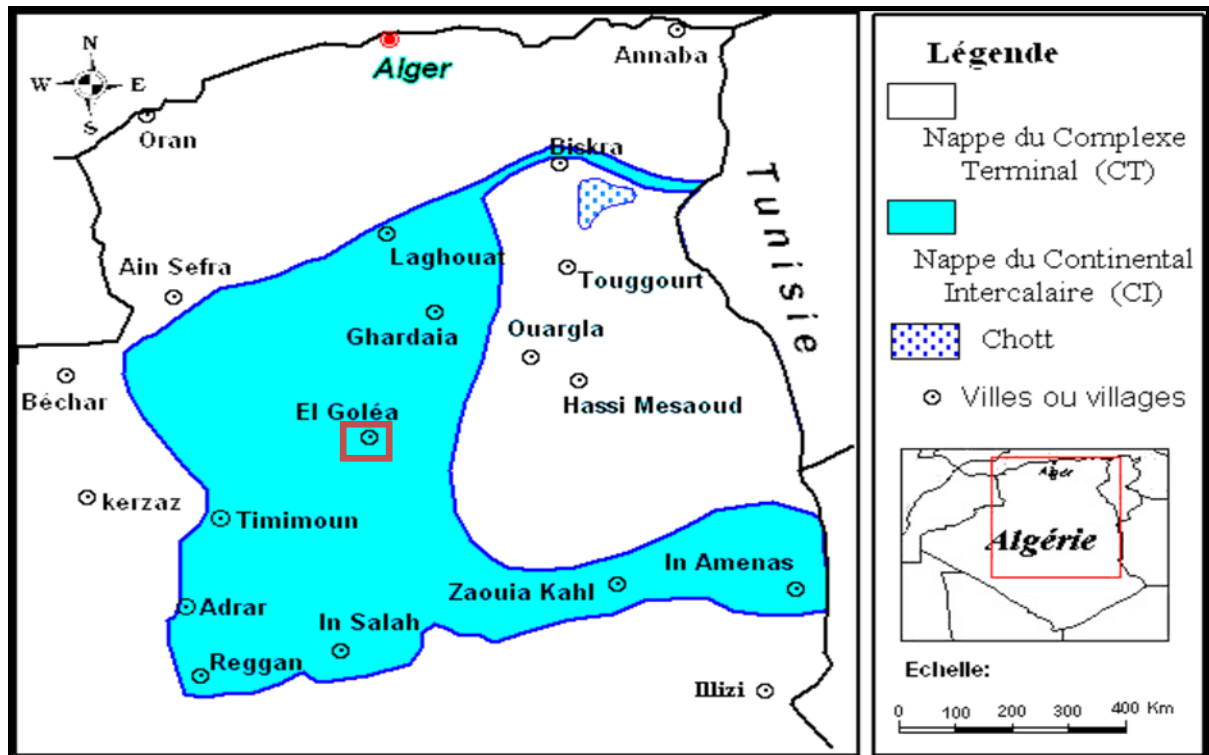


Figure 12: Délimitation du "SASS" (OSS, 2003)

III.2.1-Nappe superficielle (Nappe phréatique) :

Cette eau souterraine est superficielle, très proche de la surface, et se trouve dans les formations quaternaires. D'après (GOUSKOV, in S.E.T.H.A.L., 1984), elle bénéficie des eaux captées par la vallée du Seggueur, qui tire sa source de l'Atlas et se perd ensuite dans les dunes de l'Erg occidental. Son lit réapparaît au nord d'El-Menia à la frontière de l'Erg et du massif calcaire du M'zab. La profondeur de la nappe phréatique atteint quelques centimètres (entre 3 et 20 mètres), ce qui entraîne de graves problèmes dus à la montée du niveau des eaux. Cette eau souterraine émerge au niveau du lac El-Menia. Ils se nourrissent principalement d'eau de pluie, d'eau d'irrigation, d'eau domestique et d'eaux usées.

III.2.1-Nappe du continentale intercalaire (Aquifère) :

Cet aquifère profond, composé de sable, de grès et d'argile sableuse d'âge albien, se trouve sous des couches argileuses calcaires de 20 à 30 m d'épaisseur qui contiennent un aquifère chargé (son eau est fossile, stockée pendant les périodes humides) qui représente la principale ressource de la région. L'épaisseur de l'Albien est de l'ordre de 600 m. Les profondeurs de l'aquifère varient de 65 à 250 mètres vers le nord.

Dans la direction sud, le phénomène des conditions artésiennes commence à se manifester. L'élévation marginale du bassin de Tademaït favorise dans une large mesure l'apparition de

Chapitre III : Contexte hydrogéologique

l'artésianisme (caractérisé par un aquifère confiné) dû à la nature imperméable des marnes du Cénomane.

L'étage Albien présente selon Capot (1958) des variations latérales de perméabilité dans les grès d'où l'impression que l'on se trouve en présence de plusieurs nappes dans la région d'El-Menia, ces nappes peuvent être regroupées en cinq :

- 1^{er} nappe à 30 m de profondeur : nappe ascendante.
- 2^{ème} nappe de 40 à 50 m de profondeur : nappe ascendante.
- 3^{ème} nappe de 65 à 75 m de profondeur : nappe ascendante.
- 4^{ème} nappe de 85 à 95 m de profondeur : nappe jaillissante.
- 5^{ème} nappe de 110 m ou plus de profondeur : nappe jaillissante.

III.3- Gestion et exploitation :

Le stress hydrique est l'un des défis majeurs auxquels le monde est confronté aujourd'hui, en particulier dans les régions arides et semi-arides. Ce dernier est défini comme le manque de ressources en eau nécessaires pour répondre aux besoins de la population, tant agricoles qu'industriels. C'est le résultat de plusieurs facteurs, notamment le changement climatique, la demande accrue en eau due à la croissance démographique et l'expansion des activités économiques. Cette situation entraîne une diminution des ressources en eau douce et une détérioration de la qualité de l'eau.

La région d'El-Menia contient d'importantes eaux souterraines de haute qualité, situées dans l'aquifère connu sous le nom d'Albien. Cet aquifère est exploité au moyen de puits profonds et moyens. De nombreuses études ont été menées depuis la colonisation pour déterminer la qualité et la quantité de l'eau présente sous terre.

L'eau de la région d'El-Menia est classée comme étant d'une haute qualité, car le niveau de salinité ne dépasse pas 1 g/L.

Wilaya d'El-Menia cherche désormais à optimiser l'utilisation de l'eau, notamment :

- Gestion et exploitation agricoles. L'État a prévu des incitations pour l'utilisation de dispositifs économiseurs d'eau tels que les arroseurs à pivot et l'irrigation goutte à goutte, ainsi qu'un soutien aux agriculteurs pour l'achat de ces dispositifs.
- Gestion et exploitation industrielle. Il existe une station d'épuration des eaux usées en activité. Nous pouvons également utiliser cette eau traitée dans les secteurs économique et industriel pour transformer certains matériaux industriels, et dans le

Chapitre III : Contexte hydrogéologique

secteur agricole pour irriguer les espaces verts au lieu d'utiliser les eaux souterraines douces.

- Gestion et exploitation de l'eau potable. Les autorités locales d'El-Menia ont défini plusieurs programmes dans le secteur des ressources en eau pour orienter et répondre aux besoins de la population en eau potable. Cela comprend le lancement de projets de réservoirs d'eau, actuellement en construction. Ces réservoirs permettent de stocker et de conserver les eaux souterraines.

III.4- Conclusion :

L'étude hydrogéologique de la région d'El-Menia met en évidence la richesse et la fragilité des ressources en eaux souterraines. Malgré un accès facile aux eaux souterraines, le pays souffre de la pollution et de la montée des eaux, tandis que l'aquifère albienne, une ressource fossile précieuse, est soumise à une exploitation intensive, accompagnée d'une diminution progressive du débit des eaux artésiennes. Cette situation met en évidence le besoin urgent d'une gestion intégrée et rationnelle de l'eau, du recyclage des eaux usées et de politiques publiques axées sur la durabilité. La conservation de ces ressources vitales dans l'environnement hostile du désert reste un défi majeur qui ne peut être relevé efficacement.

Chapitre IV :

Résultats et discussion

Chapitre IV : Résultats et discussion

IV.1. Introduction:

La partie hydrogéochimique de ce chapitre est basée sur les résultats d'analyses physico-chimiques menées sur les puits du système d'eau souterraine de la région d'El-Menia. Les propriétés chimiques de l'eau sont principalement attribuées à la nature des roches traversées par l'eau, ainsi qu'à la durée de son interaction avec l'environnement géologique. Les résultats de l'analyse ont montré des variations significatives dans les concentrations d'éléments chimiques, reflétant l'influence de divers facteurs géologiques et hydrogéologiques sur la qualité des eaux souterraines.

IV.2- Présentation des résultats d'analyses :

IV.2.1. Les paramètres physiques :

Ces paramètres sont faciles à mesurer et représentent une étape essentielle dans l'analyse et la classification des eaux souterraines et la compréhension de leur origine et de leur évolution.

IV.2.1.1. Potentiel Hydrogène (pH):

Le pH est l'un des indicateurs les plus importants utilisés pour déterminer l'acidité ou l'alcalinité de l'eau, car il exprime la concentration en ions hydrogène (H^+). Dans la zone d'étude, les résultats des mesures montrent que la valeur du pH dans la plupart des échantillons était constante à 7,5, avec une légère variation dans certains échantillons où les valeurs variaient entre 7,4 et 7,8. Cette homogénéité indique une eau avec une réaction généralement neutre, avec une légère tendance à la basicité à certains endroits. (Fig.01)

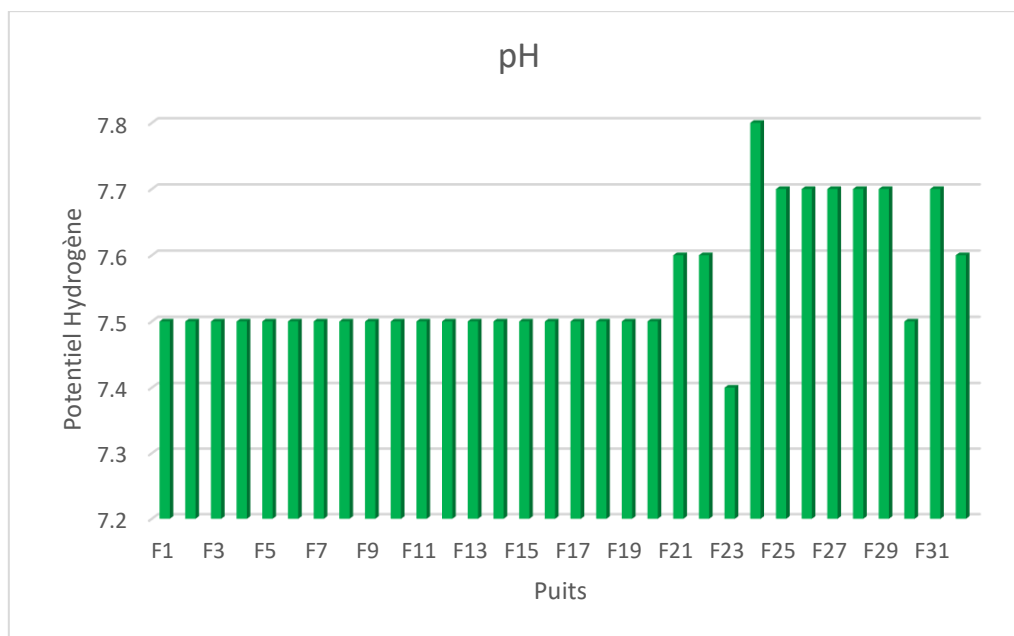


Figure 13: Histogramme de la variation du pH des eaux du CI

IV.2.1.2. La Conductivité électrique CE ($\mu S.cm^{-1}$) :

La conductivité électrique donne une idée sur la minéralisation totale d'une eau (sels minéraux), elle se mesure à une température des eaux entre 20° à 25° C, elle augmente avec la température et s'exprime en $\mu S.cm^{-1}$.

Chapitre IV : Résultats et discussion

Les valeurs des conductivités (Fig.03) dans les échantillons des eaux de CI d'El-Menia varient entre 290 et 742 $\mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$. La valeur moyenne de la conductivité électrique est de 456.4 $\mu\text{S}/\text{cm}$. Elles ne dépassent pas les normes (<1000 $\mu\text{S}/\text{cm}$) de potabilité de l'OMS (normes mises à jour en 2006), aussi, elles ne dépassent pas la norme algérienne de l'eau potable (2800 $\mu\text{S}/\text{cm}$). (fig.02)

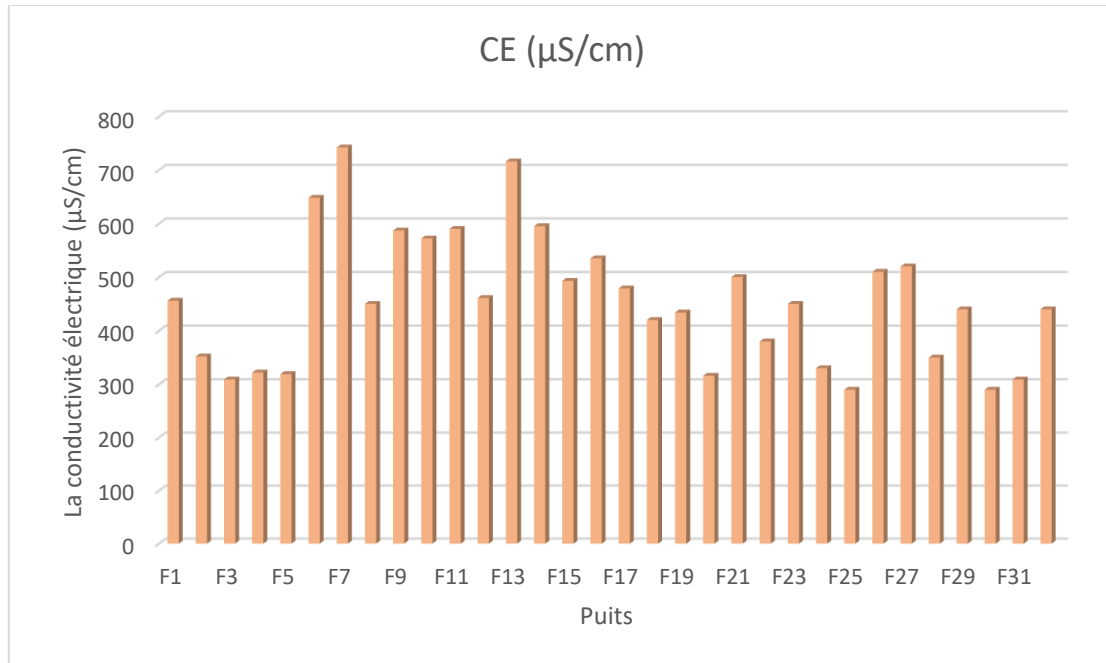


Figure 14: Histogramme de la conductivité électrique des eaux du CI

IV.2.3. Les paramètres chimiques :

L'analyse des paramètres chimiques permet d'évaluer la qualité des eaux souterraines, de déterminer leur origine et de suivre leur évolution géochimique. Elle aide à détecter d'éventuelles contaminations (nitrates, ammonium, métaux lourds) et à identifier les processus eau-roche. Ces données sont essentielles pour une gestion durable des ressources en eau.

IV.2.3.1. Les anions majeurs :

IV.2.3.1.1. Les Sulfates (SO_4^{2-}) :

La présence des sulfates est généralement liée au lessivage des formations évaporitiques, tel que le gypse ($\text{CaSO}_4 \cdot 2(\text{H}_2\text{O})$) et l'anhydrite (CaSO_4), ils peuvent provenir également de l'oxydation du baryum.

Les teneurs des sulfates (SO_4^{2-}) dans l'eau de la région (Fig. 03), varient entre 31,96 mg/L et 86,86 mg/L. Elles ne dépassent pas les normes algériennes (400 mg/l) et les normes de l'OMS (250mg/l).

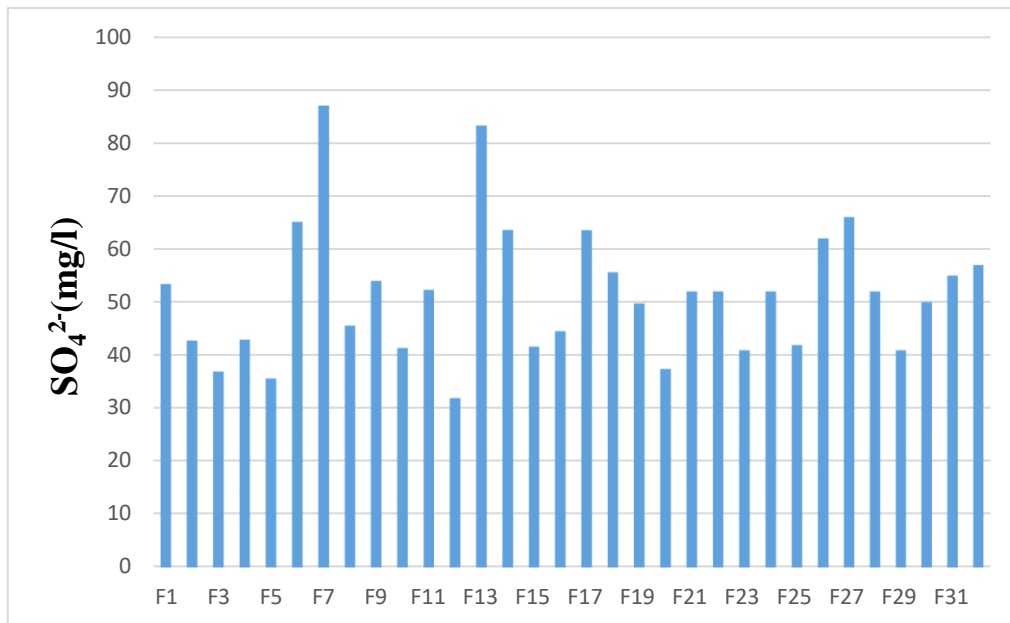
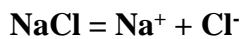


Figure 15: Histogramme de variation spatiale des sulfates

IV.2.3.1.2. Les Chlorures (Cl⁻) :

L'origine de cet élément est liée principalement à la dissolution de l'Halite (NaCl), qui se fait selon la relation suivante :



Les teneurs en chlorures (Fig. 04) varient entre 16.48 mg /l à 87.923 mg/l. Elles ne dépassent pas les normes algériennes (500 mg/l) et les normes de l'OMS (250mg/l).

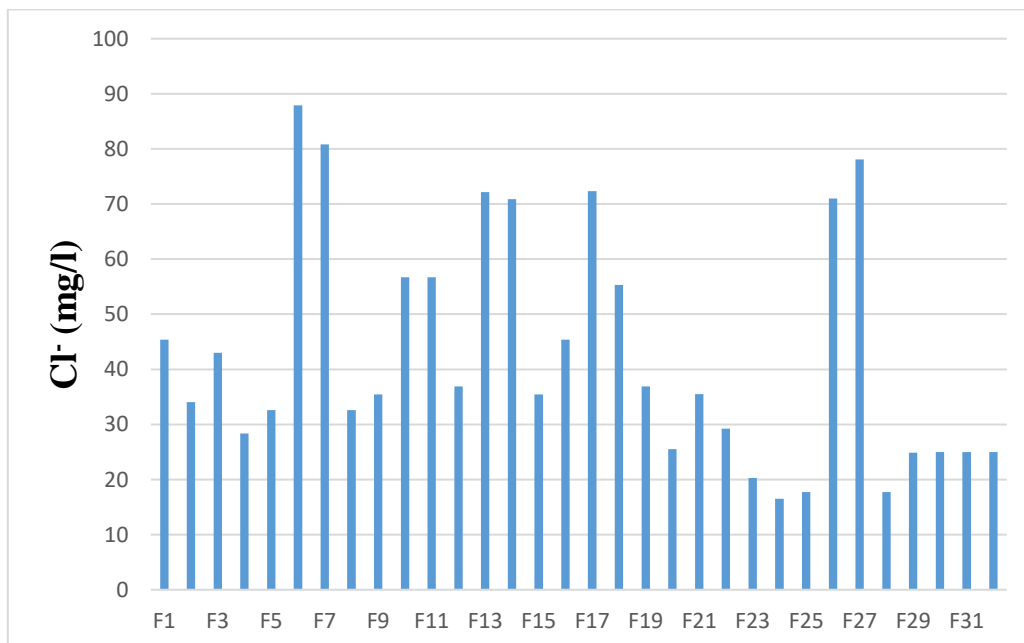


Figure 16: Histogramme de variation spatiale des chlorures

Chapitre IV : Résultats et discussion

IV.2.3.1.3 .Les bicarbonates HCO_3^- :

La présence des bicarbonates dans l'eau est due à la dissolution des formations Carbonatées (calcaire, dolomite...etc.) par des eaux chargées en gaz carbonique. L'équation de dissolution est donnée comme suit :



Les teneurs en bicarbonates (Fig. 05) varient entre 79.3 mg /l et 237.9 mg/l.Elles ne dépassent pas les normes de potabilité de l'O.M.S (240mg/l).

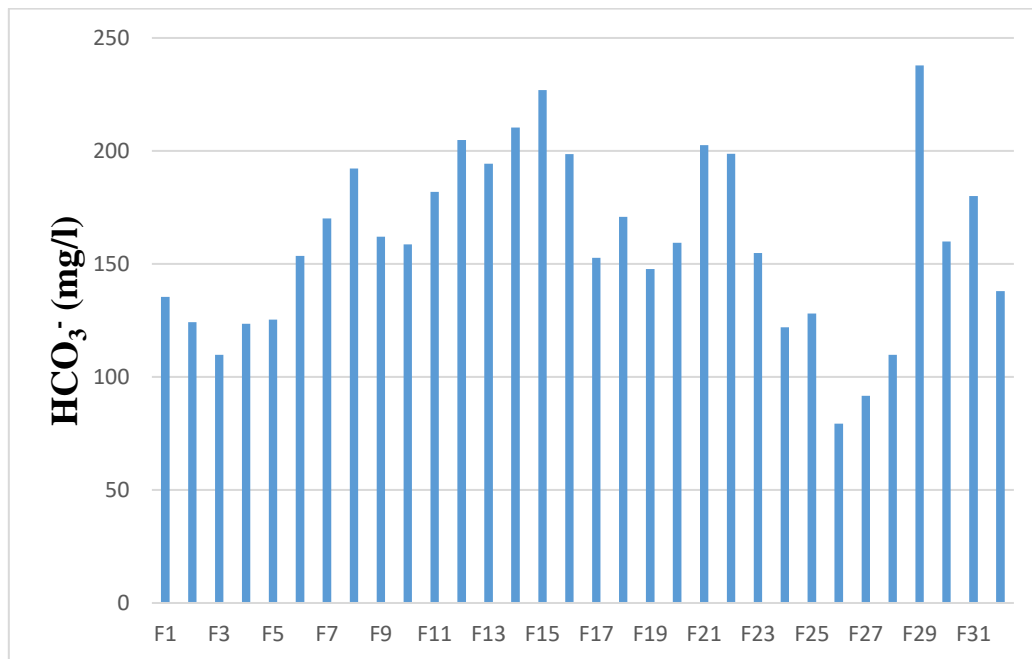


Figure 17: Histogramme de variation spatiale des bicarbonates

IV.2.3.2. .Les cations majeurs :

IV.2.3.2.1. Le Calcium (Ca^{2+}) :

La présence d'ions calcium (Ca^{2+}) dans l'eau indique la dissolution de formations carbonatées telles que la calcite (CaCO_3) et la dolomite [$(\text{Ca},\text{Mg})\text{CO}_3$], ou la dissolution de formations évaporitiques telles que le gypse [$\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$] ou l'anhydrite (CaSO_4), selon les équations suivantes :

- $\text{CaCO}_3 = \text{Ca}^{2+} + \text{CO}_3^{2-}$
- $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O} = \text{Ca}^{2+} + \text{SO}_4^{2-} + 2\text{H}_2\text{O}$

Les teneurs de Calcium (Ca^{2+}) dans les eaux de la région varient entre 24.048mg/l et 52.9056 mg/l. Elles ne dépassent pas la norme algérienne de l'eau potable et les normes de l'O.M.S (200 mg/l) (Fig. 06)

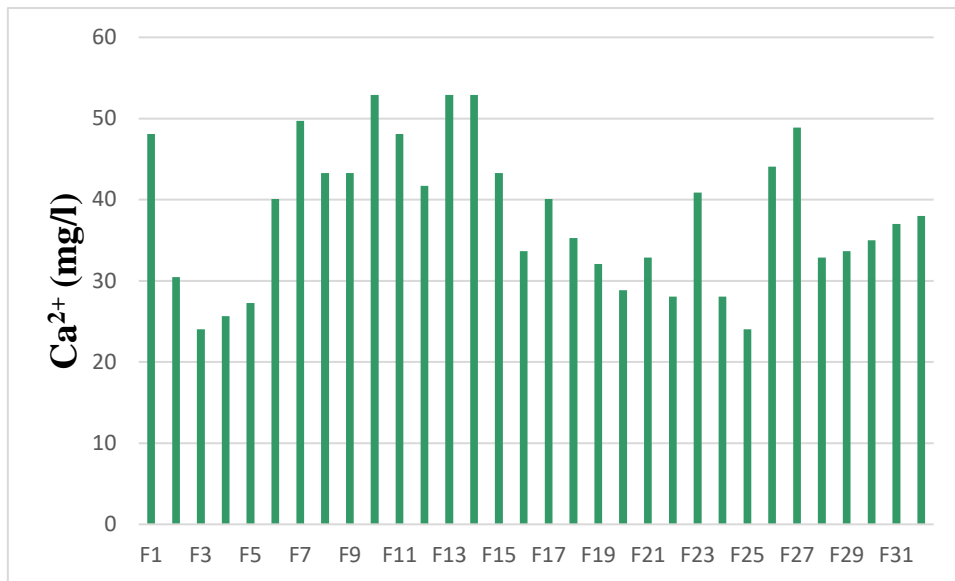


Figure 18: Histogramme de variation spatiale du calcium

IV.2.3.2.2. Le Magnésium (Mg²⁺) :

Cet élément provient de la dissolution de formations carbonatées ou sulfatées riches en magnésium, notamment la dolomie et l'Epsomite selon la relation suivante :

- $\text{CaMg}(\text{CO}_3)_2 = \text{Ca}^{2+} + \text{Mg}^{2+} + 2\text{CO}_3^{2-}$
- $\text{MgSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O} = \text{Mg}^{2+} + \text{SO}_4^{2-}$

Les niveaux de magnésium dans la région varient de 4,86 mg/L à 25 mg/L dans les puits d'eau souterraine. (Figure 07). Elle reste dans les limites admissibles selon les normes algériennes de l'eau potable et les normes de l'Organisation mondiale de la santé (OMS), qui ne dépassent pas 150 mg/L.

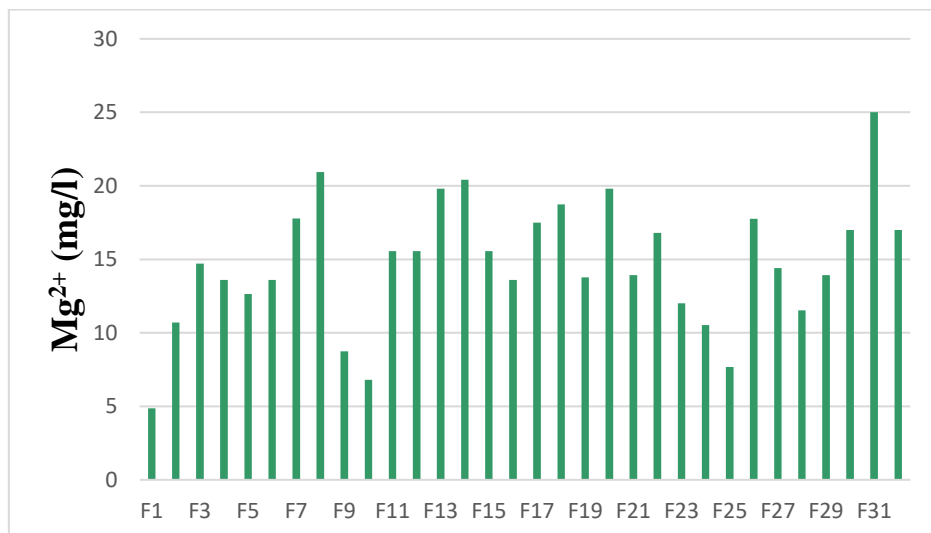


Figure 19: Histogramme de variation spatiale du magnésium

Chapitre IV : Résultats et discussion

IV.2.3.2.3. Le Sodium (Na^+) :

La présence de sodium (Na^+) dans les eaux souterraines est principalement associée à la dissolution naturelle de la roche halite (NaCl), et une partie du sodium est également susceptible d'être le résultat de vestiges d'eau marine ancienne emprisonnés dans des aquifères profonds.

Les teneurs de Sodium (Na^+) dans les eaux de (CI) varient entre 17.5 mg /l et 64.2mg/l(Fig8). Elles ne dépassent pas les normes de potabilité de l'O.M.S et Algérie (200mg/l).

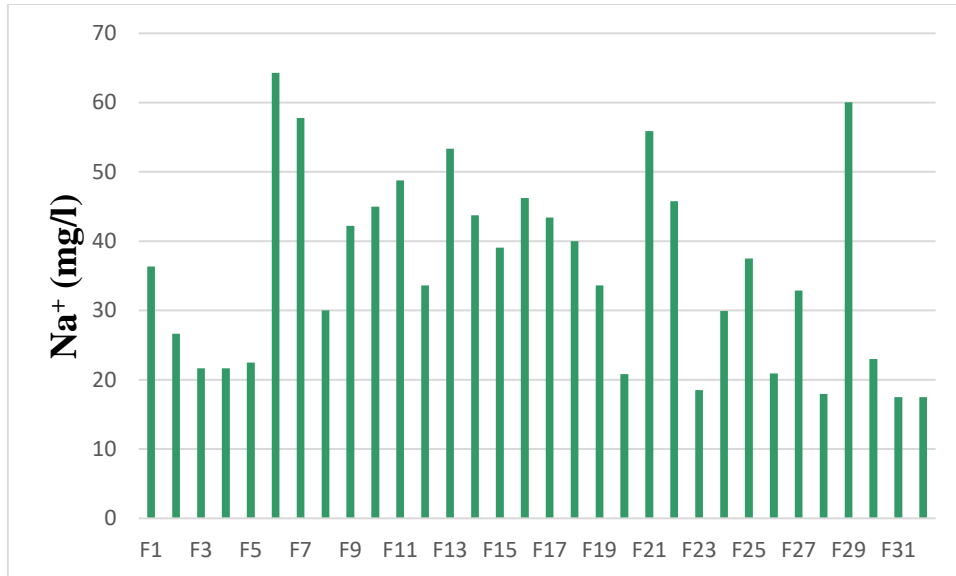
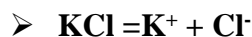


Figure 20: Histogramme de variation spatiale du Sodium

IV.2.3.2.4. Le Potassium (K^+) :

Les fortes teneurs en potassium peuvent être observées dans les eaux des formations argileuses et dans les eaux ayant traversées des formations évaporitiques riches en sylvite (KCl), selon la équation suivantes :



Les teneurs de Potassium (K^+) dans les eaux souterraines (Fig.09) sont variés entre 4 mg/l et 13.63 mg/l. Elles ne dépassent pas la norme algérienne de l'eau potable et les normes de l'O.M.S (20 mg/l).

Chapitre IV : Résultats et discussion

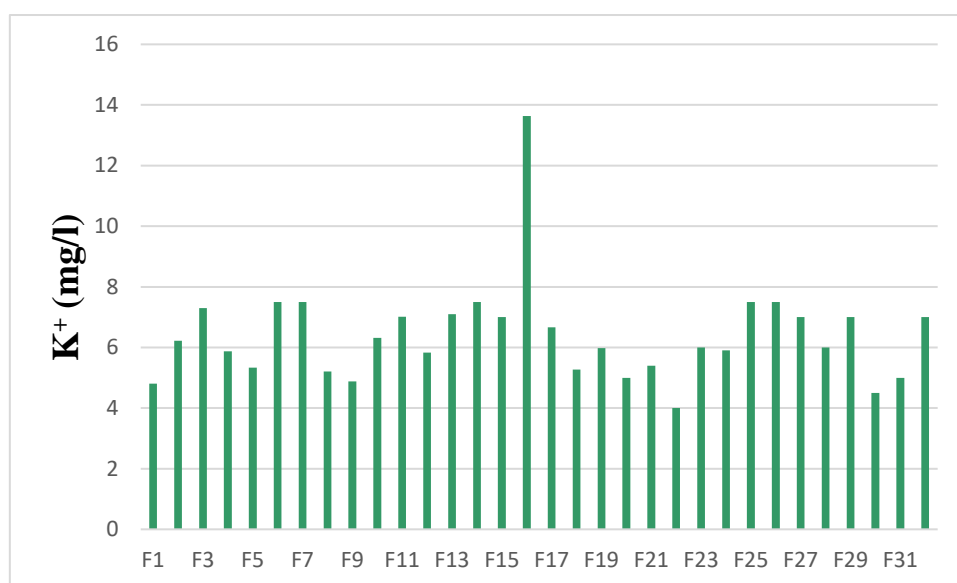


Figure 21: Histogramme de variation spatiale du Potassium

Tableau 6: Variations des paramètres physico-chimiques en (mg/l) :

Paramètre	N.A	N.O.M.S	Min	Max	Moy	Ecart-type
pH	6.5-8.5	6.5-8.5	7.4	7.8	7.553	0.095
CE (µS/cm)	2800	1000	290	742	456.406	123.391
SO ₄ ²⁻ (mg/l)	400	250	31.96	86.86	51.576	12.578
Cl ⁻ (mg/l)	500	250	16.48	87.923	42.825	20.899
HCO ₃ ⁻ (mg/l)	300	240	79.30	237.90	159.541	38.960
Ca ²⁺ (mg/l)	200	200	24.04	52.906	38.030	8.828
Mg ²⁺ (mg/l)	150	150	4.86	25.00	14.757	4.379
Na ⁺ (mg/l)	200	200	17.50	64.28	35.880	13.785
K ⁺ (mg/l)	20	20	4.00	13.63	6.397	1.664

IV.3. Faciès chimique des eaux :

IV.3.1. Par la classification de STABLER :

Pour la classification chimique des eaux souterraines, plusieurs méthodes sont utilisées, parmi lesquelles l'équation de Stabler est l'une des plus simples et les plus répandues. Cette méthode repose sur le calcul du pourcentage molaire de chaque ion par rapport à la concentration totale de l'eau, selon la formule suivante :

Chapitre IV : Résultats et discussion

$$r \% = (100 / c) \times r$$

Où :

r : est la quantité en réaction de l'ion considéré en $\text{m\acute{e}q.l}^{-1}$.

c : la concentration totale.

Les ions sont ensuite classés séparément (anions et cations) par ordre décroissant, ce qui permet de définir les faciès chimiques caractéristiques des eaux analysées.

Dans la région d'El-Menia, la lithologie des niveaux aquifères étant dominée par des formations carbonatées, Où la classification de Stabler peut être exprimée comme suit :

Pour les anions : $r\text{HCO}_3^- > r\text{Cl}^- > r\text{SO}_4^{2-}$,

Et pour les cations : $r\text{Ca}^{2+} > r\text{Na}^+ > r\text{Mg}^{2+}$.

Afin de mieux comprendre cette évolution des faciès géochimiques, des diagrammes binaires ont été tracés à partir de rapports ioniques caractéristiques tels que :

$\text{Na}^+/\text{Ca}^{2+}$ en fonction de $\text{HCO}_3^-/\text{Cl}^-$ (Figure 10)

$\text{Mg}^{2+}/\text{Ca}^{2+}$ en fonction de $\text{HCO}_3^-/\text{SO}_4^{2-}$ (Figure 11)

Ces diagrammes permettent d'illustrer clairement les mécanismes de transformation chimique affectant les eaux souterraines de la région.

Les résultats de l'analyse de l'eau dans la zone d'étude indiquent que les caractéristiques chimiques prédominantes dans la zone d'étude sont : Faciès Carbonaté Calcique, Faciès Carbonaté sodique et quelques points en faciès carbonaté magnésien.

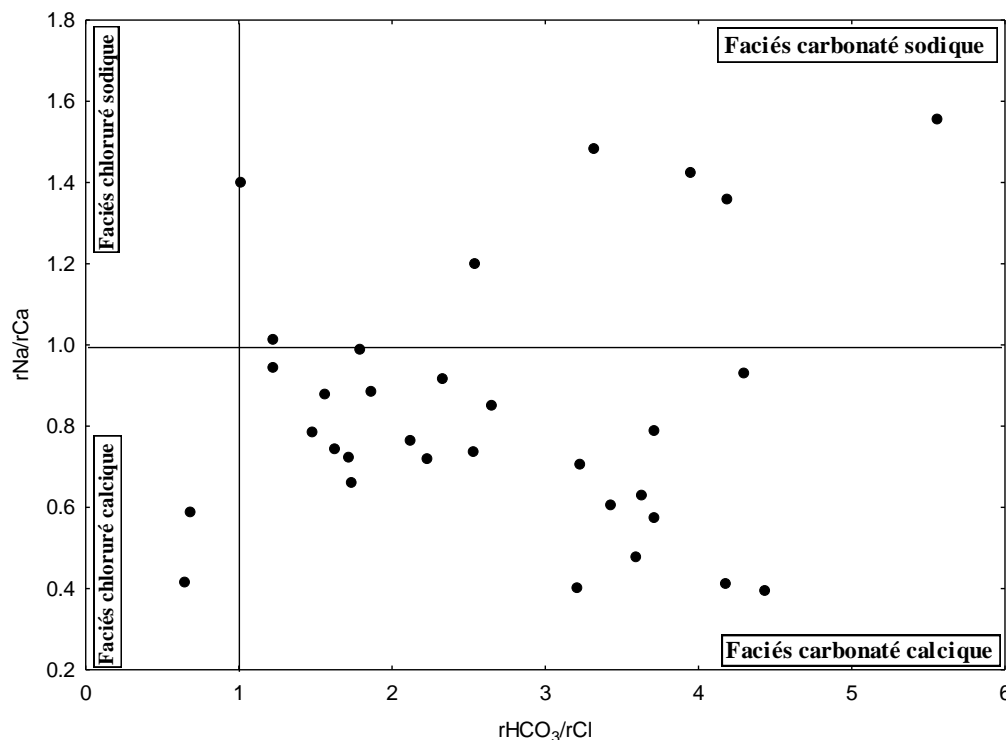


Figure 22: Faciès chimiques par la relation $r\text{HCO}_3^-/r\text{Cl}$ vs $r\text{Na}/r\text{Ca}$

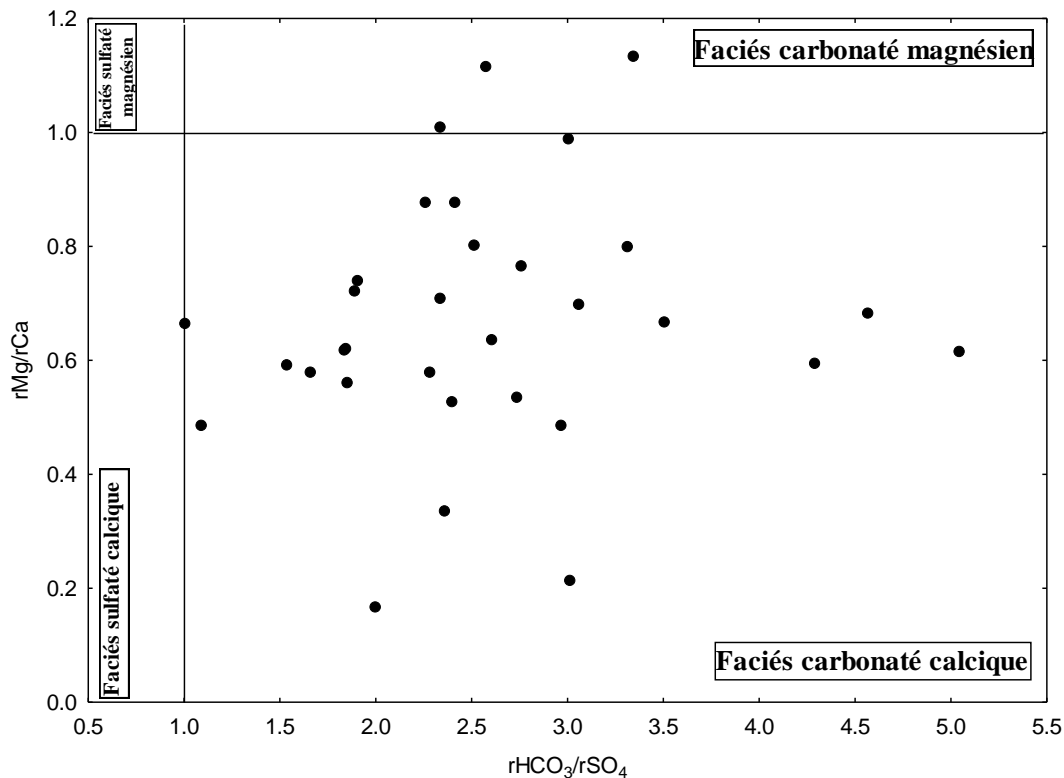


Figure 23: Faciès chimiques par la relation $rHCO_3/rSO_4$ vs rMg/rCa

IV.3.2. Par le digramme de PIPER :

Le diagramme de Piper est un moyen efficace de représenter la distribution des anions et des cations dans les échantillons d'eau, en utilisant deux triangles indépendants, chacun reflétant les pourcentages d'ions majeurs par rapport au total (cations dans le triangle de gauche, anions dans le triangle de droite). La position relative de chaque échantillon au sein des triangles permet de déterminer la dominance cationique et anionique.

Les deux triangles sont reliés par un losange central et l'intersection des deux lignes partant des points d'échantillonnage dans chaque triangle est enregistrée. Cette intersection représente la composition chimique globale de l'échantillon, sa position relative permet de préciser les faciès dominants de l'eau.

Les résultats de l'analyse (Figure 12) ont montré que la majorité des échantillons appartiennent au fascia Bicarbonatée calcique et magnésienne, ce qui indique une origine naturelle résultant de la dissolution de roches carbonatées (telles que le calcaire et la dolomie).

Cependant, certains échantillons ont été observés comme étant orientés vers le Chlorure et sulfate calcique et magnésienne, ce qui peut indiquer une évolution chimique partielle résultant de l'interaction de l'eau avec des couches plus profondes riches en sels, ou l'effet des processus d'évaporation.

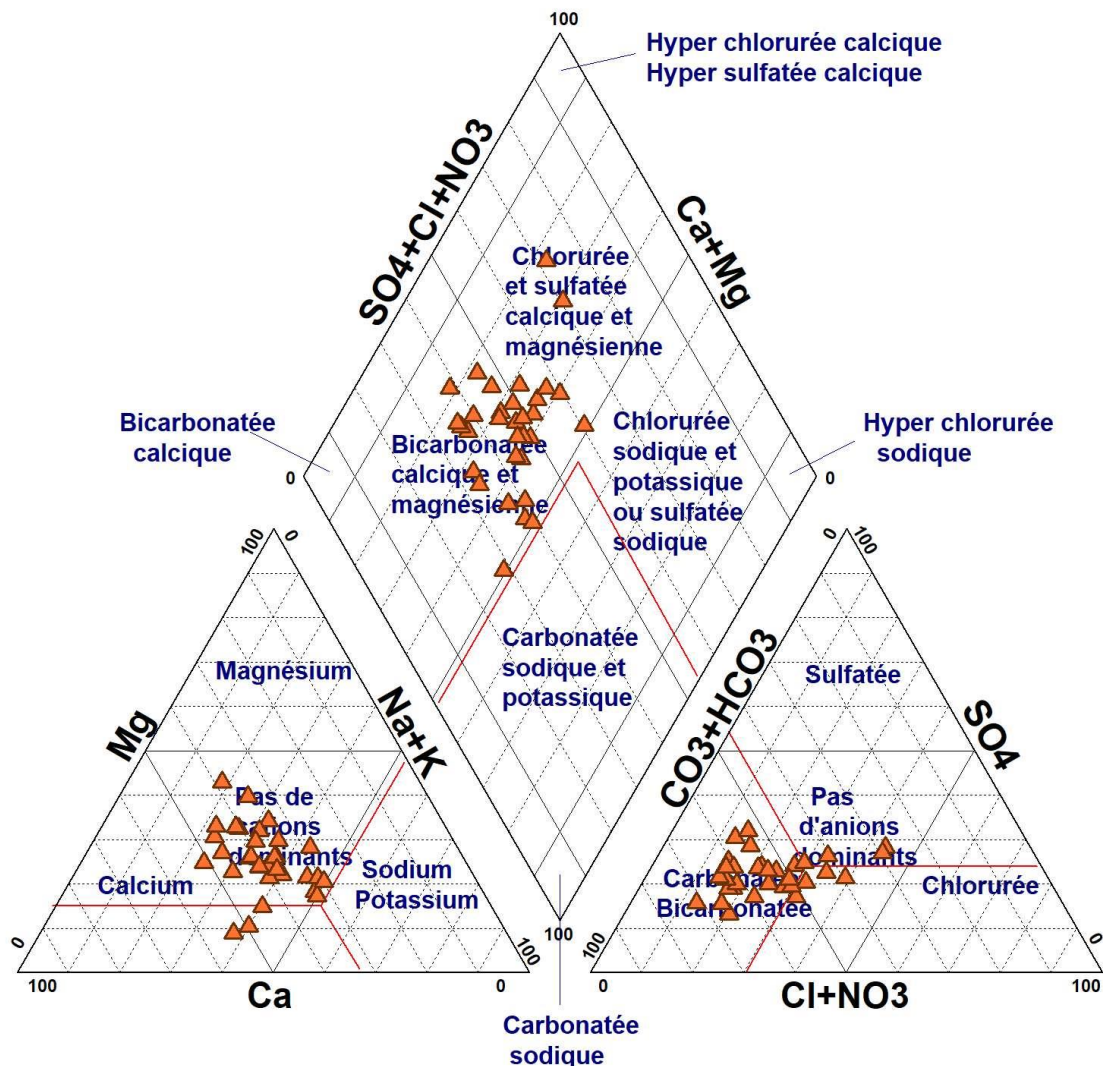


Figure 24: Faciès chimique des eaux du CI de la zone d'étude

IV.5. Origine des éléments chimiques :

On étudie l'origine des éléments chimiques dans les eaux souterraines afin de comprendre leurs sources et leurs effets sur la composition chimique de l'eau. Cette analyse permet d'identifier les processus géochimiques qui résultent des interactions entre l'eau et les roches.

IV.5.1. Origine des chlorures, sulfates et du sodium

IV.5.1.1. La relation $r_{Na/rCl}$:

Le graphique la figure 13, montre un nuage de point qui présente un certain alignement autour de la droite de dissolution de l'halite, avec quelques forages dispersés qui perturbent cet alignement, le coefficient de corrélation de ce rapport est de l'ordre de $r = 0.5321$. Une grande partie des ions sodium et chlorures doivent donc avoir une même origine, en l'occurrence, la dissolution de l'halite ($NaCl$), cette relation suggère que les eaux de la nappe sont influencées par la dissolution de l'halite peut être rencontrée durant son parcours jusqu'à l'aquifère.

Chapitre IV : Résultats et discussion

On constate également que la majorité des points présentent un excès en sodium, ce qui peut être expliqué par des processus modificateurs de chimisme tels que l'échange d'ions ou la dissolution d'autres minéraux riches en sodium. Cependant, certains échantillons présentent un excès de chlorure, ce qui laisse supposer l'existence d'autres sources possibles pour les ions sodium et chlorure.

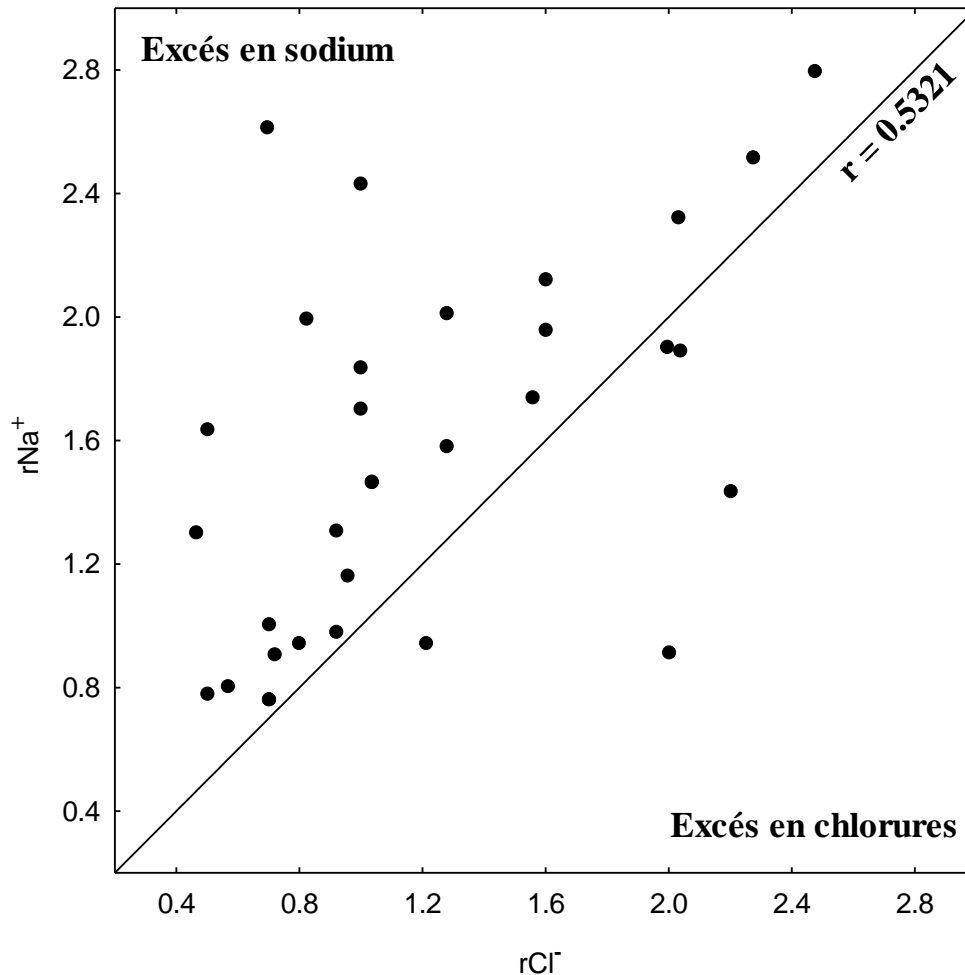


Figure 25: La relation rNa vs rCl

IV.5.1.2. La relation rNa^+/rSo_4^{2-} :

Le graphique (Fig. 14) montre un nuage de points, avec quelques forages dispersés qui perturbent l'alignement, et un coefficient de corrélation relativement faible de l'ordre de $r = 0,4147$. On remarque que la majorité des points se situent au-dessus de la droite de dissolution, indiquant un excès de sodium par rapport au sulfate dans la plupart des échantillons. Cette disposition des points au-dessus de la ligne suggère une dominance du sodium, reflétant la présence probable de sources supplémentaires de sodium, telles que l'échange ionique ou la dissolution de minéraux riches en sodium.

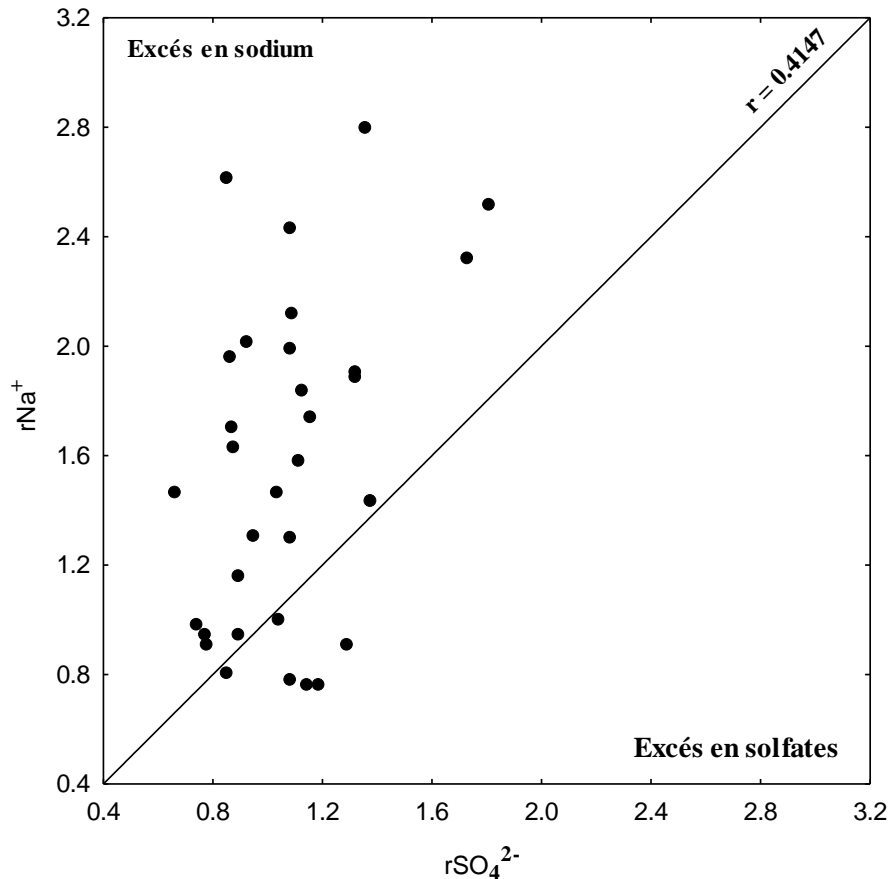


Figure 26: La relation rNa vs rSO_4

IV.5.2. Origine des bicarbonates, du calcium et du magnésium :

IV.5.2.1. La relation $rCa^{+2} / rHCO_3^-$:

Le diagramme de corrélation entre les concentrations en calcium (rCa^{2+}) et en bicarbonates ($rHCO_3^-$) montre que la majorité des points se situent en dessous de la droite d'équilibre de dissolution ($Y = X$), avec quelques forages dispersés, et un coefficient de corrélation très faible de l'ordre de $r = 0.2391$. On observe un excès en bicarbonates par rapport au calcium. Ces éléments qui doivent avoir à leur origine la dissolution des roches carbonatées, notamment la calcite et la dolomite, alors que le graphe montre une situation différente, qui peut s'expliquer soit par l'existence de sources supplémentaires de bicarbonates, soit par un échange ionique affectant le calcium (appauvrissement). (fig. 15).

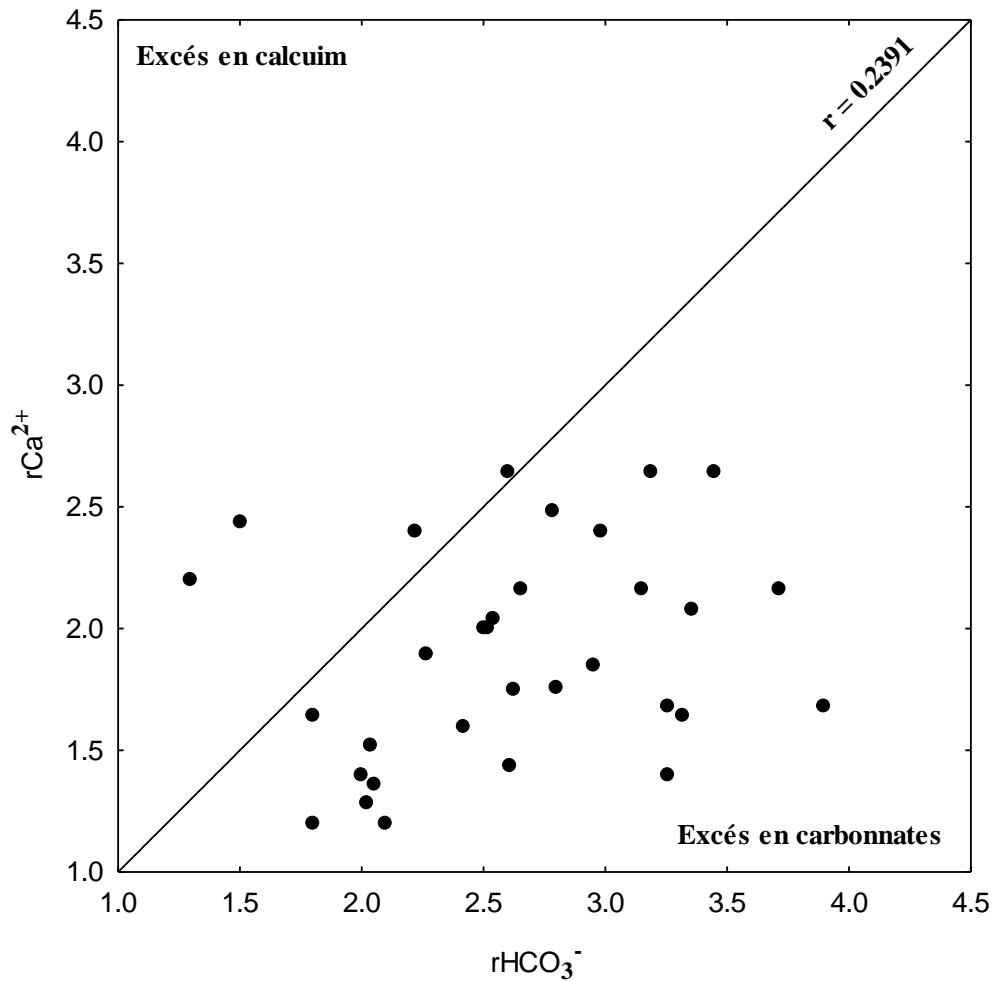


Figure 27: La relation rCa vs $rHCO_3$

IV.5.2.2. La relation $rMg^{+2}/rHCO_3^-$:

La figure 16 montre un nuage de points dispersé, ainsi qu'un faible coefficient de corrélation ($r = 0,3355$). Le bicarbonate apparaît comme l'ion dominant dans la majorité des échantillons par rapport au magnésium. Une interprétation possible serait que l'origine principale des bicarbonates soit liée à la dissolution des roches carbonatées, notamment la calcite, tandis que le magnésium semble refléter une contribution contrôlée par les processus d'échange de base.

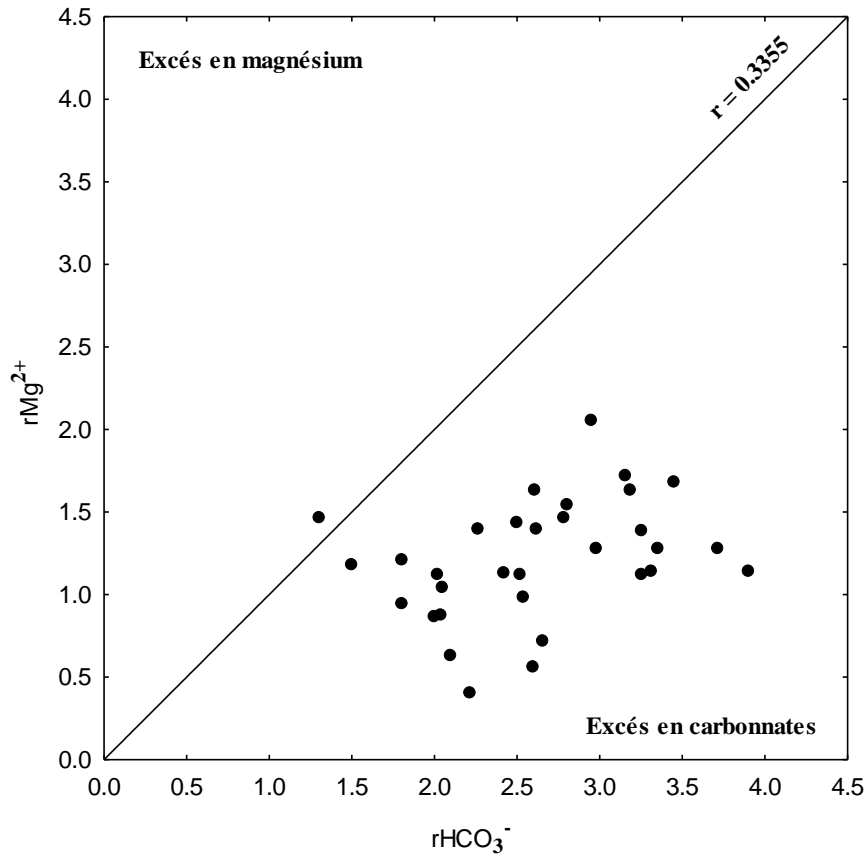


Figure 28: La relation rMg vs $rHCO_3$

IV.5.2.3. La relation $rCa^{+2}+rMg^{+2}$ vs $rHCO_3^-$:

Le graphique de la figure 17 montre un nuage de points répartis autour de la droite de dissolution de la dolomite, avec quelques forages dispersés perturbant cet alignement. Le coefficient de corrélation est faible ($r = 0,3749$).

La relation ($rCa^{2+} + rMg^{2+}$ vs $rHCO_3^-$) indique que le calcium et le magnésium sont en faible excès par rapport aux bicarbonates. Cet excès peut s'expliquer par juste à cause de l'addition des valeurs du Ca et M et peut être par la dissolution de la dolomite.

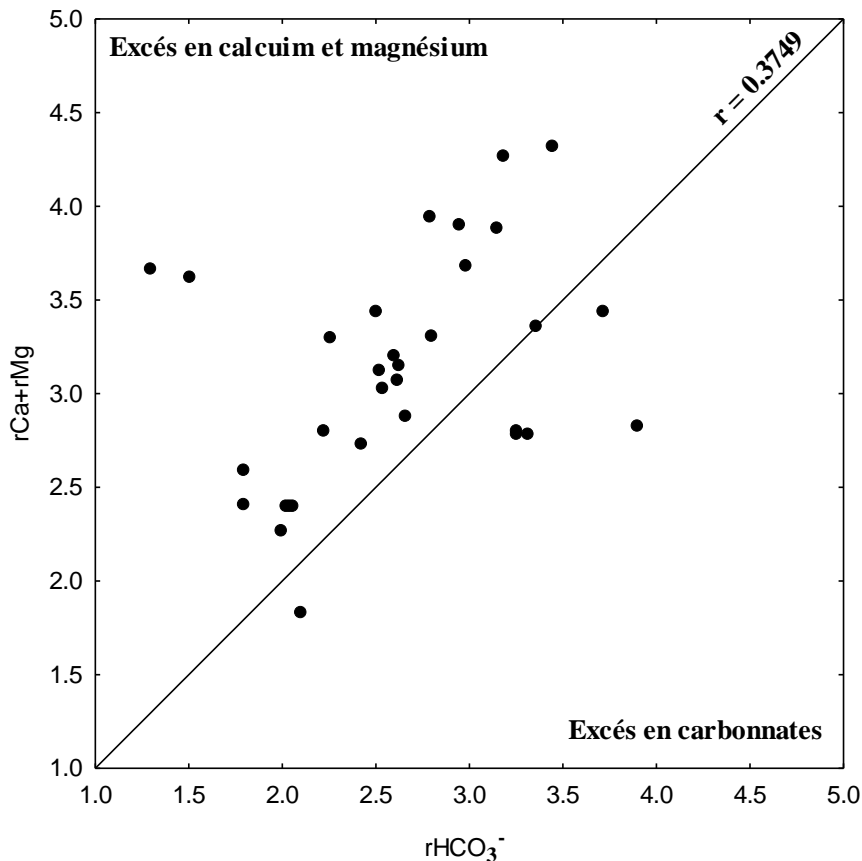


Figure 29: La relation $r\text{Ca}+r\text{Mg}$ vs $r\text{HCO}_3^-$

IV.6. Equilibres minéraux/solutions dans les eaux :

IV.6.1. Notion d'Indice de saturation :

L'équilibre des eaux avec la matrice rocheuse est généralement exprimé soit par le taux de saturation (S), soit par l'indice de saturation (Is), Selon l'équation suivante :

- Taux de saturation (S) :

$$S = \left(\frac{\text{PAI}}{K_s} \right) \times 100$$

Avec :

- S : taux de saturation de la solution vis-à-vis d'un minéral donné, exprimé en pourcentage.
- PAI : représente le produit d'activité des ionique.
- K_s : est le produit de solubilité du minéral.

Cependant, l'indice de saturation (Is) est l'outil le plus utilisé dans l'étude des eaux souterraines. Il est déterminé à l'aide de l'expression suivante :

$$I_s = \log(K) - \log(PI)$$

Avec :

- PI : produit d'activité des ions concernés.

Chapitre IV : Résultats et discussion

- K : produit de solubilité du minéral considéré.

Interprétation des résultats :

Si $I_s = 0$, l'eau est en équilibre avec le minéral.

Si $I_s > 0$, la solution est sursaturée, et le minéral peut précipiter.

Si $I_s < 0$, la solution est sous-saturée, et le minéral tend à se dissoudre.

Dans le cadre de notre étude visant à comprendre les mécanismes d'acquisition de la minéralisation, nous avons utilisé le logiciel "PhreeqC" pour calculer les indices de saturation de plusieurs minéraux : la calcite, de l'aragonite, de l'epsomite, de la gypsum, de la dolomite, de la magnésite, de l'anhydrite et de l'halite, en plus de la Mirabilite et la Thénardite.

IV.6.2. Variation de l'indice de saturation :

Les résultats des calculs des indices de saturation (SI) ont montré que toutes les valeurs étaient négatives, ce qui indique que les eaux de la région ne sont pas saturées par rapport aux minéraux étudiés. Ces valeurs reflètent un état d'instabilité chimique des eaux souterraines vis-à-vis de ces minéraux, ce qui signifie que l'eau est encore capable de dissoudre davantage de minéraux.

IV.6.3. Les relations indices de saturation vs minéraux prépondérants :

IV.6.3.1. Les relations indices de saturation vs minéraux évaporitiques :

Les résultats obtenus révèlent l'existence de corrélations très fortes entre les indices de saturation des principaux minéraux évaporitiques et les concentrations des ions dissous qui leur sont associés. Un coefficient de corrélation élevé a été enregistré entre :

- L'indice de saturation de l'halite vs Na^+ et Cl^- , avec $r = 0,98$ (figure 18),
- L'indice de saturation du gypse et de l'anhydrite vs Ca^{2+} et SO_4^{2-} , avec $r = 0,9709$ (figure 19),
- Les indices de saturation de la mirabilite et de la thénardite vs Na^+ et SO_4^{2-} , avec $r = 0,974$ (figure 20),
- L'indice de saturation de l'epsomite vs Mg^{2+} et SO_4^{2-} , avec $r = 0,9661$ (figure 21).

Ces relations reflètent que les eaux sont toujours en cours de se charger en éléments chimiques le long de son parcours dans l'aquifère, notamment par la dissolution de ces minéraux.

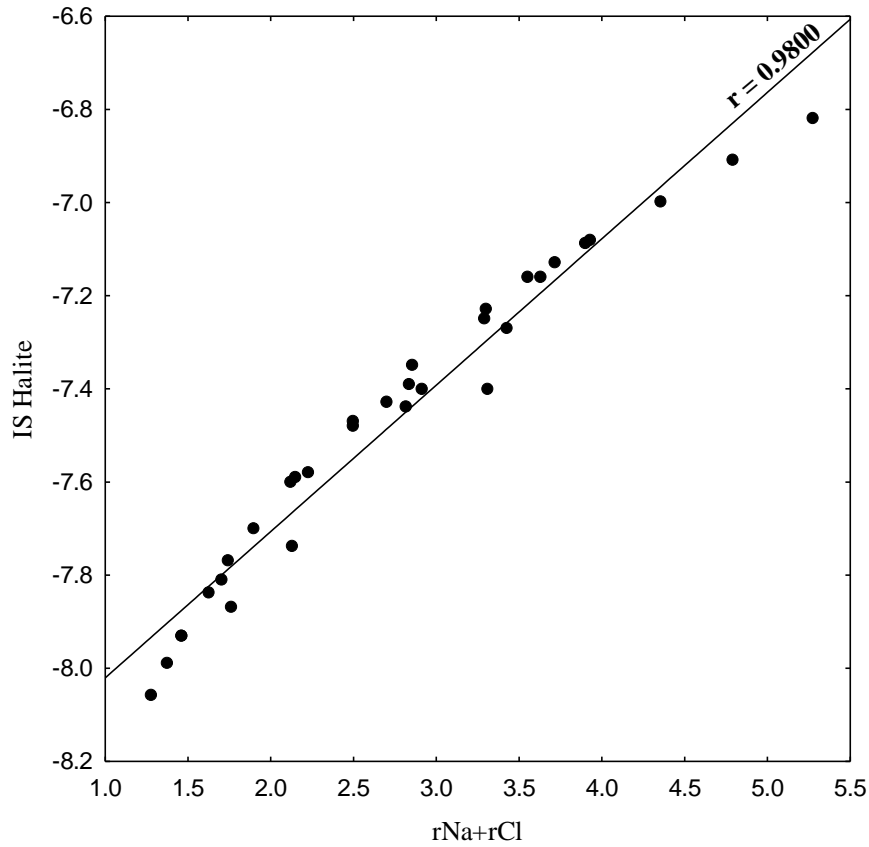


Figure 30: La relation rNa+rCl vs IS Halite

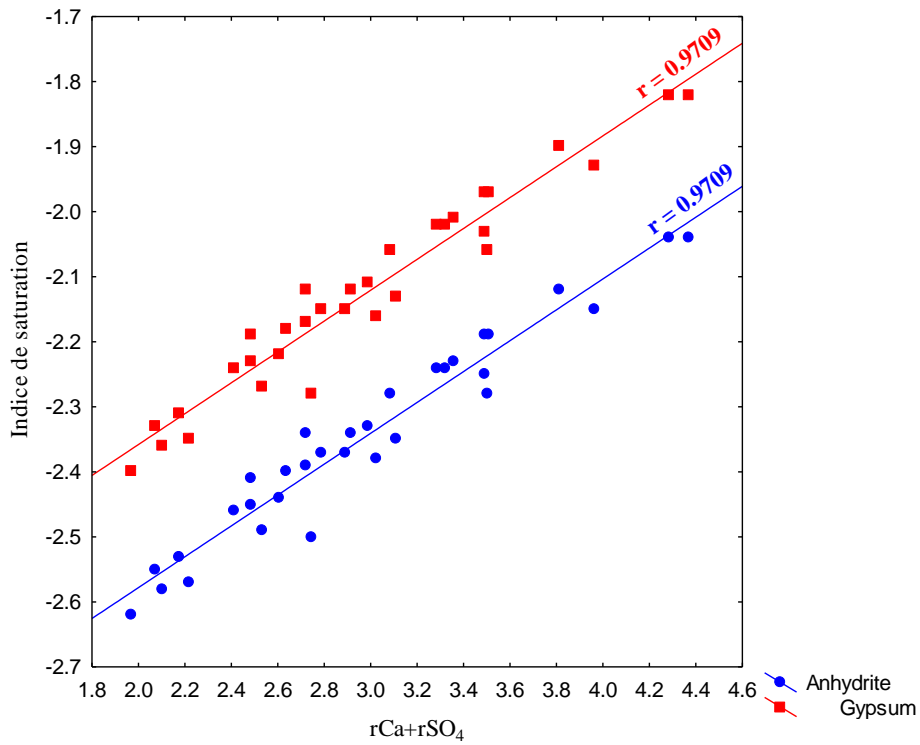


Figure 31: La relation rCa+rSO₄ vs IS Gypse et Anhydrite

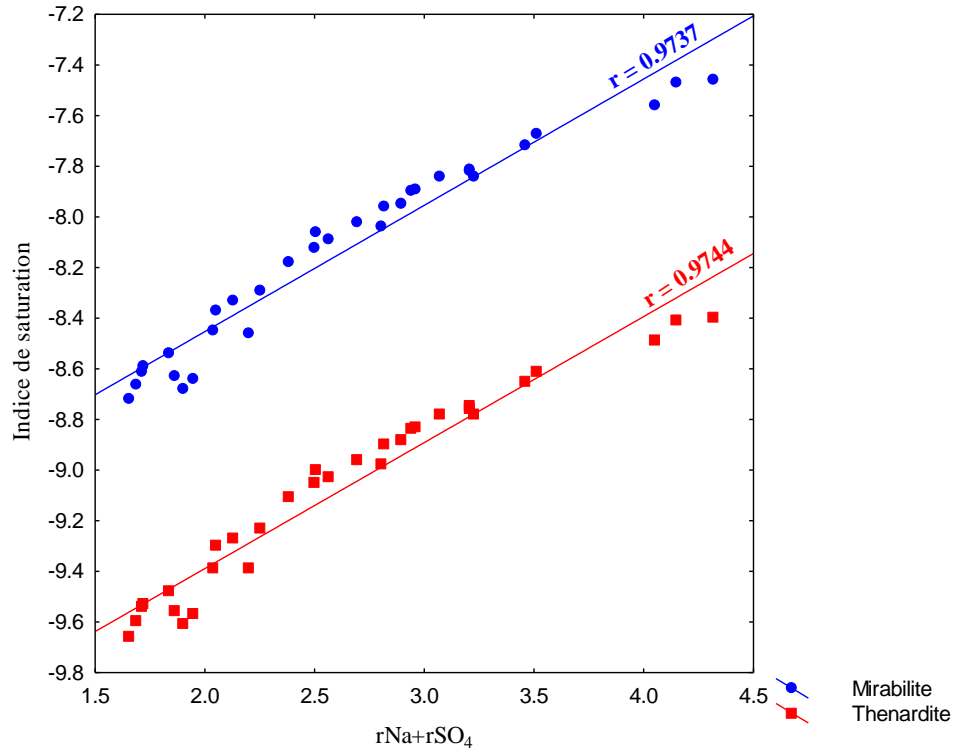


Figure 32: La relation Na+SO₄ vs IS Mirabilite et IS Thénardite

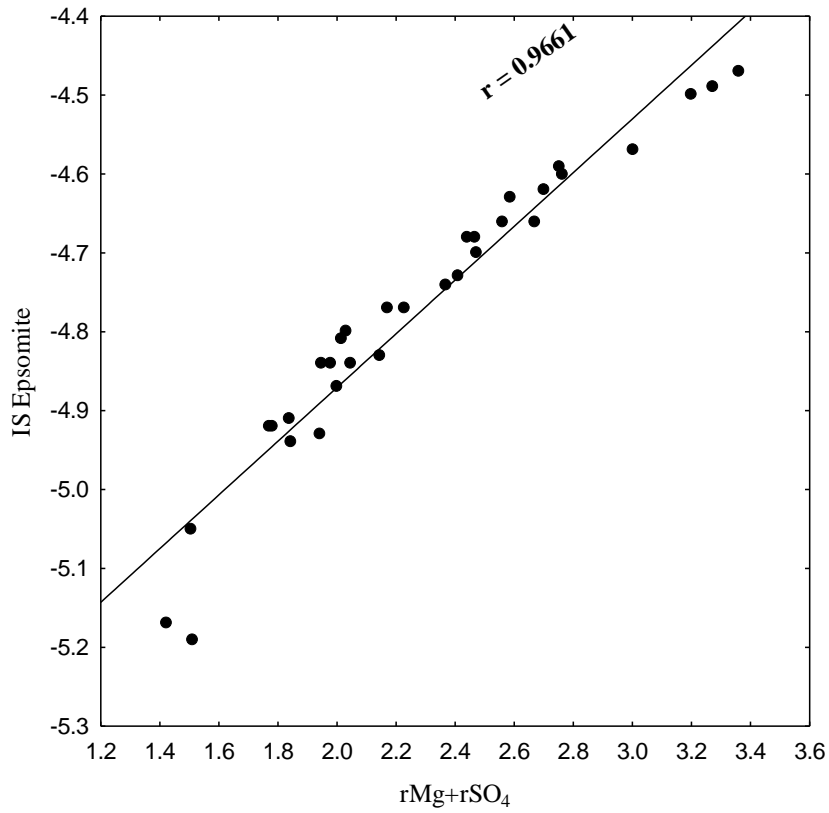


Figure 33: La relation rMg+rSO₄ vs IS Epsomite

Chapitre IV : Résultats et discussion

IV.6.3.2. Les relations indices de saturation vs minéraux carbonatés :

Les résultats obtenus mettent en évidence des corrélations très fortes entre les indices de saturation des principaux minéraux carbonatés et les concentrations des ions dissous qui leur sont associés. Des coefficients de corrélation élevés ont été enregistrés :

- L'indice de saturation de la calcite et de l'aragonite vs ($\text{Ca}^{2+} + \text{HCO}_3^-$), avec $r = 0,9868$ (Figure 22),
- L'indice de saturation de la dolomite vs ($\text{Ca}^{2+} + \text{Mg}^{2+} + \text{HCO}_3^-$), avec $r = 0,9622$ (Figure 23),
- L'indice de saturation de la magnésite vs ($\text{Mg}^{2+} + \text{HCO}_3^-$), avec $r = 0,9367$ (Figure 24).

Ces relations traduisent un état d'équilibre chimique prononcé entre les eaux souterraines et les minéraux carbonatés. Cela signifie que l'eau interagit avec les roches carbonatées (comme le calcaire et la dolomite), en les dissolvants. Les valeurs élevées des coefficients de corrélation indiquent que ces processus jouent un rôle majeur dans le contrôle de la composition chimique des eaux souterraines dans la zone d'étude.

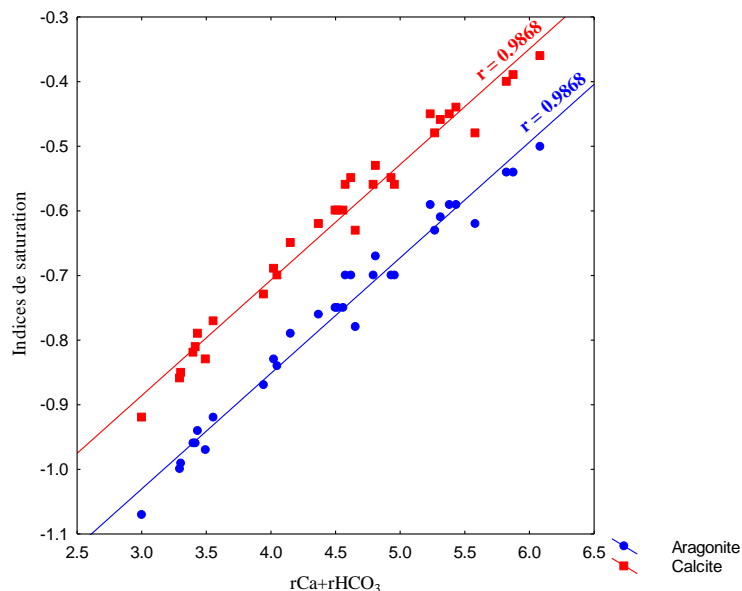


Figure 34: La relation $\text{Ca}+\text{HCO}_3$ vs IS Aragonite et IS Calcite

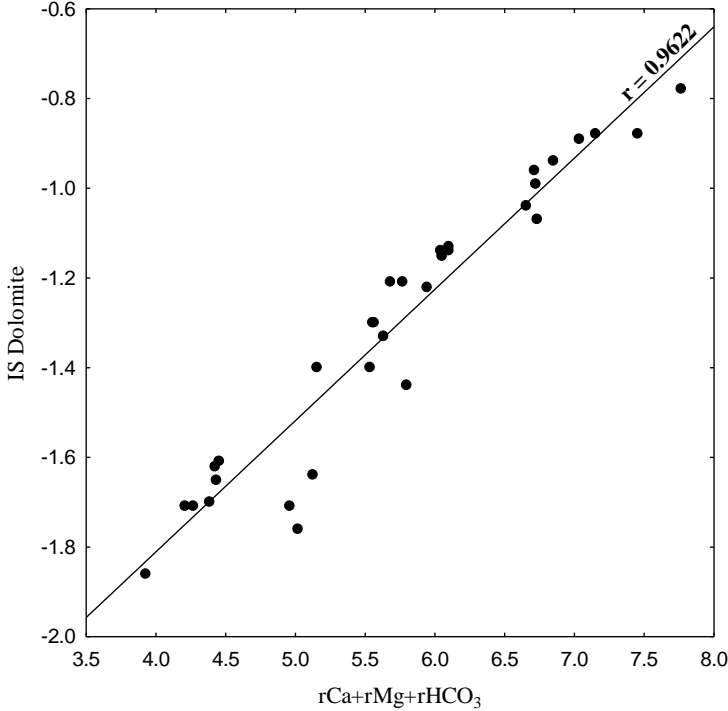


Figure 35: La relation Ca+Mg+HCO₃ vs IS Dolomite

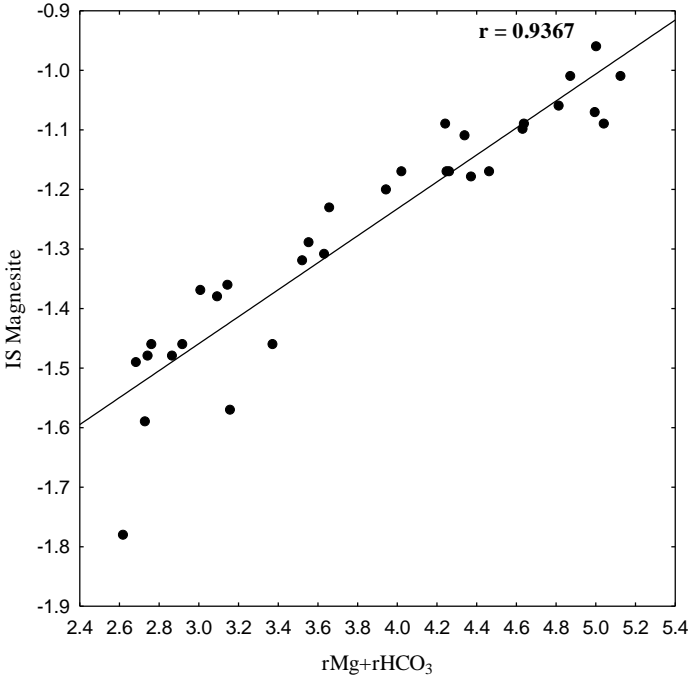


Figure 36: La relation Mg+HCO₃ vs IS Magnesite

Chapitre IV : Résultats et discussion

IV.8 .La relation ISD vs ISC :

Le diagramme ISD/ISC (Indice de Saturation de la Dolomite vs Indice de Saturation de la Calcite) est un outil géochimique utilisé pour évaluer l'état de saturation des eaux souterraines vis-à-vis des minéraux carbonatés, notamment la calcite (CaCO_3) et la dolomite ($\text{CaMg}(\text{CO}_3)_2$).

Ce diagramme permet de :

- Déterminer si l'eau est sursaturée, en équilibre, ou sous-saturée par rapport à ces deux minéraux.
- Mieux comprendre le temps de séjour, le type d'aquifère (libre ou captif), et la dynamique de circulation des eaux souterraines.
- Chaque point représenté dans le diagramme correspond à un échantillon d'eau et se définit par deux coordonnées :
 - ISC : indice de saturation en calcite.
 - ISD : indice de saturation en dolomite.
- L'eau dans cette gamme est classée comme [-0,5 ; +0,5] comme eau ancienne, tandis que les valeurs en dehors de cette plage indiquent de l'eau nouvelle ou récemment rechargée.
- Dans le diagramme de saturation (Figure 25), nous constatons que la majorité des échantillons (environ 75 %) se situent en dessous des lignes de saturation ($\text{IS} < 0$), ce qui indique qu'ils sont sous-saturés à la fois en calcite et en dolomite. En revanche, quelques forages (environ 25 %) présentent un $\text{ISC} > 0$, ce qui les place dans le domaine d'équilibre de la calcite.

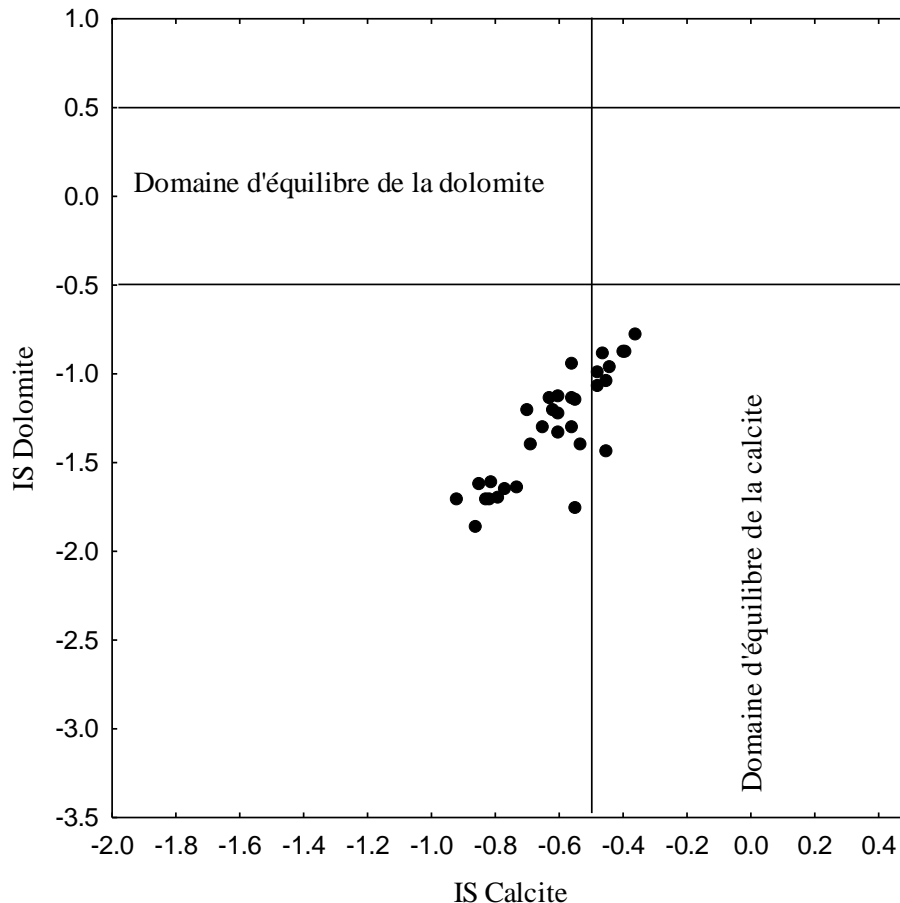


Figure 37: Diagramme I.S.D = f(I.S.C) des eaux prélevées de la zone d'étude

IV.9. Indice d'échange de base (i e b) :

L'indice d'échange de base est le rapport entre les ions échangés et les ions de même nature primitivement existants. L'eau au cours de son séjour souterrain entre une relation avec différentes substances ayant la propriété d'échanger les ions contre ceux contenues dans les eaux parmi ces substances nous avons (minéraux, l'hydroxyde ferriqueetc.)

D'après SCHELLER (1943), l'indice d'échange de base est exprimé par la formule suivante :

$$i e b = \frac{rCl^- - r(Na^+ + K^+)}{rCl^-}$$

- Si $i e b > 0$ => les eaux échangent des ions de $Na^+ + K^+$ contre les ions de Ca^{2+} et Mg^{2+} du terrain encaissant.
- Si $i e b = 0$ => il y a un équilibre entre les compositions chimiques de l'eau et l'encaissant.
- Si $i e b < 0$ => l'encaissant libère les ions de $Na^+ + K^+$ et fixe les ions de Ca^{2+} , Mg^{2+} de l'eau

Pour la région d'El-Menia, les eaux souterraines présentent un indice d'échange de base (i.e.b) négatif dans la majorité des forages (environ 90 %). Cela indique que le milieu encaissant libère les ions Na^+ et K^+ tout en fixant les ions Ca^{2+} et Mg^{2+} de l'eau, Cet échange de base peut nous interpréter les résultats obtenus auparavant (appauvrissement en Ca et Mg).

Chapitre IV : Résultats et discussion

Tableau 7: Les valeurs de l'i.e.b des points eaux du CI

Nom de forage	Symbole	i.e.b
Hadja halima	F1	-0.33203125
Kef N°:01	F2	-0.3740625
Kef N°:02	F3	0.068564356
Zone N°:1	F4	-0.365375
Zone N°:2	F5	-0.211956522
Belbachir N°:3	F6	-0.204758065
Ref	F7	-0.186315789
Daret kors	F8	-0.563369565
Hafret abas	F9	-0.9608
Belaaide N°:2	F10	-0.324125
Belaaide N°:1	F11	-0.4376875
Badriane	F12	-0.550096154
Hafnaoui	F13	-0.228683694
Ouled zaid	F14	-0.0474
Ben dine	F15	-0.879
Ouled fredj	F16	-0.84421875
Djeramna	F17	-0.009460784
Tin bouzide	F18	-0.201794872
Mgharinet	F19	-0.55375
Taghita	F20	-0.436111111
Ain el baida	F21	-1.567532468
Aboutaleb	F22	-1.54164643
Aquaculture	F23	-0.674118058
Djraif	F24	-2.123709122
SBGEM	F25	-2.640503295
Ben Haida	F26	0.449725412
Oueld omran	F27	0.269178393

Chapitre IV : Résultats et discussion

Ouedjda	F28	-0.864989015
lkhcheb	F29	-2.980596376
ELSF (forage)	F30	-0.581253545
ouled brahim(forage)	F31	-0.260777085
localité kadri (forage)	F32	-0.333238798

V.9. Conclusion :

Les résultats des analyses physico-chimiques ont montré que les eaux de la nappe du Continental Intercalaire dans la région d'El-Menia sont caractérisées par un pH neutre à légèrement basique, avec une conductivité électrique modérée, témoignant d'un certain degré de minéralisation. Des concentrations notables en ions tels que les bicarbonates, le calcium et le sodium.

L'analyse graphique à l'aide du diagramme de Piper ainsi que la classification de Stabler indiquent la présence dominante de faciès hydrochimies de type carbonaté calcique, Carbonaté sodique et magnésien.

L'origine de la minéralisation peut être principalement attribuée à la dissolution des roches évaporitiques (halite, gypse, anhydrite) et carbonatées (calcite, dolomite). L'étude des indices de saturation a confirmé que les eaux sont généralement sous-saturées vis-à-vis de la majorité des minéraux étudiés, traduisant un processus de dissolution actif.

Le diagramme de saturation en calcite et dolomite indique que l'eau n'a pas séjourné longtemps et n'a pas trop écoulé dans l'aquifère qui peut être alimenté par les eaux récentes.

Enfin, l'indice d'échange de base négatif observé dans la majorité des forages suggère un échange inverse de cations, où le milieu encaissant fixe le Ca^{2+} et Mg^{2+} et libère le Na^+ et K^+ , ce qui reflète une interaction chimique significative entre l'eau souterraine et la lithologie environnante (argiles).

Conclusion générale

Conclusion générale :

L'Oasis d'El-Menia est une zone stratégique située au cœur de l'Algérie. Elle s'étend sur une superficie estimée à 58 495,25 km², couvrant l'ensemble du territoire de la province d'El-Menia, y compris les communes de Hassi El Gara et Hassi El Fahal. Cette région est caractérisée par un climat désertique arid, avec des températures extrêmement élevées pendant l'été et des précipitations faibles et irrégulières, avec une moyenne annuelle ne dépassant pas les 2,66 mm. Les analyses climatiques ont montré que les taux d'évaporation sont considérablement élevés, ce qui exerce une pression supplémentaire sur les ressources en eau, tant de surface que souterraines. Il a également été constaté que la structure topographique et les formations géomorphologiques de la région jouent un rôle crucial dans la détermination des directions du ruissellement de surface et dans l'alimentation des réservoirs d'eau souterraine, notamment la vallée de l'oasis et le lac Sebkhat El Mellah.

La région est constituée d'un ensemble diversifié de formations géologiques, dominées par des roches sédimentaires crétacées (albien, cénomanienne, turonien, etc.), qui jouent un rôle central dans le stockage et le transport des eaux souterraines. Les résultats des forages ont révélé une séquence géologique claire, s'étendant de la surface jusqu'aux profondeurs. Le système aquifère souterrain se compose de deux niveaux principaux :

Le premier est la nappe phréatique, peu profonde et localement rechargée ;

Le second est la nappe albienne, source principale d'eau potable et d'irrigation.

L'étude hydrogéochimique, fondée sur les résultats des analyses en laboratoire de 32 échantillons d'eau, a permis de caractériser les eaux de la nappe du Continental Intercalaire à travers l'analyse de leurs propriétés physico-chimiques.

Les eaux de la nappe du Continental Intercalaire dans la région d'El-Menia sont caractérisées par un pH neutre à légèrement basique, avec une conductivité électrique modérée, avec des concentrations un peu élevées localement de quelques éléments chimiques tels que : (HCO_3^- et Ca^{+2} et Na^+).

Les différentes classifications adoptées dans cette étude, telles que le diagramme de Piper et la classification de Stabler, ont montré que les eaux souterraines sont caractérisées par la dominance des faciès de type carbonatés-calciques, carbonatés-sodiques et magnésiens.

L'équilibre minéraux/solution dans les eaux souterraines étudiées est évalué à l'aide de l'indice de saturation. Les résultats du calcul de cet indice pour les différents minéraux indiquent que l'eau est généralement sous-saturée pour la majorité des minéraux étudiés, ce qui témoigne de la présence de processus de dissolution actifs dans les eaux souterraines. Le graphique de saturation de la calcite et de la dolomite a également montré que l'eau est relativement jeune et qu'elle peut subir un éventuel renouvellement.

Le calcul de l'indice d'échange de base montre que le milieu encaissant libère les ions Na^+ et K^+ tout en fixant les ions Ca^{2+} et Mg^{2+} présents dans l'eau.

ملخص :

تقع منطقة المنيعية جنوب الجزائر، وهي واحة تتميز بمناخ جاف، مع ندرة الأمطار على مدار العام. تشتهر المنطقة بوجود نظامين للمياه الجوفية: الأول هو طبقة مياه جوفية سطحية، ذات نوعية مياه رديئة. والثاني هو خزان عميق يُعرف باسم الخزان القاري المتداخل، ويتميز بجودة مياه جيدة.

تهدف دراستنا إلى تحديد تفاعلات الماء/الصخور من خلال استخدام عدة مناهج هيدروجيوكيميائية لتحديد الأصول الصخرية المحتملة للكيمياء، بالإضافة إلى ظواهر وآليات اكتسابها. تكشف النتائج عن سيطرة الكربونات على الكيمياء، وهو ما ينعكس في هيمنة السحنات الكربونية. تتجم العناصر الكيميائية الرئيسية عن ذوبان صخور تتراوح بين الكربونات، والمتبخرات، والطين. وهذا الأخير يعزز ظاهرة التبادلات القاعدية، مما يساهم في إثراء المياه بعناصر كيميائية معينة .

الكلمات المفتاحية: المنيا، ألبان، التمدن، جيوكيمياء، مؤشرات التشبع، التبادلات القاعدية.

Résumé :

La région d'El-Menia se situe au sud de l'Algérie. Il s'agit d'une oasis caractérisée par un climat aride, avec des précipitations très faible tout au long de l'année. La région est connue par la présence de deux systèmes aquifères :Le premier est un aquifère superficiel, dont les eaux sont de qualité médiocre.Le second est un réservoir profond connu sous le nom de continental intercalaire, dont les eaux présentent une bonne qualité.

L'objectif de notre étude est de déterminer les interactions eaux/roches en employant quelques approches hydrogéochimiques pour déterminer les origines lithologiques probables du chimisme ainsi que les phénomènes et mécanismes de son acquisition. Les résultats obtenus révèlent le contrôle de chimisme par les carbonates reflété par la dominance du faciès carbonaté, les éléments chimiques majeurs sont le résultat de la dissolution d'une lithologie qui varie entre les carbonates, les évaporites et les argiles, ces derniers favorisent le phénomène d'échanges de base qui contribue à l'enrichissement des eaux par certains éléments chimique.

Mots-clés : El-Menia, Albien, minéralisation, géochimie, indices de saturation, échanges de base.

Abstract:

The El-Menia region is located in southern Algeria. It is an oasis characterized by an arid climate, with very low rainfall throughout the year. The region is known for the presence of two aquifer systems: The first is a shallow aquifer, whose waters are of poor quality. The second is a deep reservoir known as the continental intercalary, whose waters are of good quality.

The objective of our study is to determine water/rock interactions by employing several hydrogeochemical approaches to determine the probable lithological origins of the chemistry as well as the phenomena and mechanisms of its acquisition. The results obtained reveal the control of chemistry by carbonates, reflected by the dominance of the carbonate facies. The major chemical elements are the result of the dissolution of a lithology that varies between carbonates, evaporites, and clays. The latter promote the phenomenon of base exchanges, which contributes to the enrichment of waters with certain chemical elements.

Keywords: El-Menia, Alban, mineralization, geochemistry, saturation indices, base exchanges.

Bibliographique

BUSSON, G. (1967)

Le Mésozoïque saharien. 1ère partie L'Extrême Sud-tunisien. Edit., Paris, « Centre Rech. Zones Arides », Géol., 8, 194 p. Ed. C.N.R.S.

BUSSON, G. (1970)

Le Mésozoïque saharien. 2ème partie : Essai de synthèse des données des sondages algéro-tunisiens. Edit., Paris, « Centre Rech. Zones Arides ».

BOUDJEMA A, 1987

Evolution structurale du bassin pétrolier triasique du Sahara Nord oriental (Algérie). Thèse Universitaire Paris XI Orsay, 290p.

BILAL, F. (2022)

Hydrogéologie, qualité et gestion de la ressource en eau . *mémoire*, p11,12.

CAPOT REY, G. (1958)

L'eau et le sol à El-Goléa. Travaux de L'IRST TOME XVII

CHAIMA, B. C. (2024)

Etude lithostratigraphique, paléontologique et minéralogique des dépôts Cénomaniens dans la région d'El Méniia. *Mémoire*, p17.

DSA (Direction des Services Agricoles de la wilaya de Ghardaia), (2014)

Rapport statistique des données agricoles d'El Menia

DELPARENT A., 1948

Mission géologique dans le Sahara algérien Travaux de l'IRS. Tome V- Alger, 50p.

Fabre, J. (1976)

Introduction à la géologie du Sahara d'Algérie et des régions voisines. SNED, Alger.

Fabre, J. (2005) Géologie du Sahara Occidental et Central Tervuren africain géoscience collection vol 108. 572 p.

HAIDA, 2008

Inventaire des arthropodes dans trois stations de la région d'El-Menia. p .9.

METERFI, 1984

Inventaire variétal de la palmeraie algérienne. Ed. AnepRouiba.Algérie. PP 46, 52,84

OSS (Observatoire Sahara et Sahel). (2003)

Système aquifère du Sahara septentrional : gestion commune d'un bassin transfrontière. Rapport de synthèse. OSS, Tunisie.

ONM (Office Nationale de la Météologie), (2015)

Bulletin d'information climatique et agronomique. Ed. Office nati. météo. Cent. clim. nati, El Menia.

SETHYAL, (1985)

Sociétés des études hydrauliques d'Algérie. Etude de l'évacuation du chott d'El Goléa d'Alger, 70 p.

Station d'El-Menia

Donnés climatiques (2005-2024)

Walid, A. (2019).

Etude de la salinisation du sol la région del-Menia . mémoire,p5,6,7.